

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIV (BIPV) ON- GRID SYSTEM*
(Studi Kasus : Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains Dan Teknologi



oleh :

ARIF NUGROHO

11555102683

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU

2020

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING*
INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV) ON- GRID SYSTEM
(Studi Kasus: Gedung Rektorat Uin Suska Riau)

TUGAS AKHIR

Oleh:

ARIF NUGROHO
11555102683

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
Di Pekanbaru, pada tanggal 24 Agustus 2020

Ketua Program Studi

Pembimbing

Ewi Ismaredah, S. Kom., M. Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

Marhama Jelita, S. Pd., M. Sc
NIK 130517054

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING* *INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV) ON- GRID SYSTEM* (Studi Kasus: Gedung Rektorat Uin Suska Rian)

TUGAS AKHIR

Oleh :

ARIF NUGROHO
11555102683

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas
Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Di
Pekanbaru, pada tanggal 24 Agustus 2020

Pekanbaru, 24 Agustus 2020

Mengesahkan,

a.n Dekan,
Wakil Dekan I
Fakultas Sains dan Teknologi



Dr. Harris Simaremare, ST, MT
NIP. 19830625 200801 1 008

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Rika Susanti, ST., M.Eng
Sekretaris : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc
Anggota I : Susi Afriani, ST., MT
Anggota II : Ahmad Faizal, ST., MT

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 24 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

ARIF NUGROHO
NIM. 11555102683

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN



“Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Robbmulah hendaknya kamu berharap”.

(Q.S Al-Insyirah ayat: 7-8)

Alhamdulillahillahi robbil’alamin....

Terimakasih ku ucapkan kepada mu ya Allah tuhan semesta alam, sujud syukurku kusembahkan kepada-Mu ya Rabb Tuhan yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdirmu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berfikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Sebuah usaha dengan pemikiran dan keringat telah ku lalui dengan tantangan dan rintangan hebat sehingga saatnya sekarang usaha itu membuahkan hasil berupa desain dan karya tulis yang menghantarkanku menjadi seorang sarjana. Semua ini hamba persembahkan kepada Allah yang telah menurunkan tanda-tanda qauliyah-Nya dari Al-Quran.

“Bukankah Dia (Allah) yang memperkenalkan (do’a) orang yang dalam kesulitan apabila dia berdoa kepada-Nya, dan menghilangkan kesusahan dan menjadikan kamu (manusia) sebagai khalifah (pemimpin) di Bumi? Apakah di samping Allah ada Tuhan (yang lain)? Sedikit sekali (nikmat Allah) yang kamu ingat”.

(Q.S An-Naml ayat: 62)

teruntuk....

Kedua orangtuaku tercinta, terimakasih atas kesabaranmu selama ini, terimakasih atas do’a, semangat, motivasi, lidah dan mulut yang tak pernah lelah menasihati ku walau terkadang nasihat itu sering ku acuhkan. Maafkan atas segala hal kecil dan besar yang pernah ananda lakukan sehingga membuat hati bapak dan ibu terluka. Terimalah karya kecil ini buah dari hasil pendidikan yang ananda jalani selama masa perkuliahan, sebagai bentuk rasa terimakasihku walau kasih dan sayangmu tak akan pernah bisa tergantikan semoga pahala dan rezeki selalu dilimpahkan kepada Allah swt kepada kalian.

“Jangan pernah takut, ragu, malas untuk melakukan sesuatu hal yang benar, karena sesuatu hal yang didasari dengan niat baik maka akan menghasilkan sesuatu yang baik pula. Jangan berputus asa dan lari dari setiap masalah yang datang hadapilah dengan segenap kekuatan yang ada dan iringi setiap perjuangan dengan do’a niscaya Allah memberikan jalan yang terbaik”.

~Arif Nugroho~

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV) ON-GRID SYSTEM* (Studi Kasus : Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau)

AIF NUGROHO
NIM: 11555102683

Tanggal Sidang: 24 Agustus 2020

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
JL. HR. Soebrantas KM 15,5 Pekanbaru

ABSTRAK

Gedung Rektorat UIN Suska Riau merupakan bangunan gedung yang memiliki konsumsi energi listrik terbesar dari semua bangunan di UIN Suska Riau, dimana konsumsi energi listrik rektorat sebesar 33% dari total konsumsi energi listrik dalam setahun. Untuk mengurangi beban konsumsi energi di gedung Rektorat UIN Suska Riau, penelitian ini menawarkan solusi berupa perancangan BIPV *system*. Tujuan pada penelitian ini yaitu menghasilkan rancangan BIPV *system* dengan melakukan analisis pada aspek teknis, ekonomis serta pengurangan emisi dari perancangan pembangkit BIPV *system*. Adapun metode yang digunakan pada perancangan pembangkit listrik ini adalah BIPV *on-grid system*. Hasil yang didapat dari penelitian ini berupa analisis teknis yang dihasilkan menggunakan *comsol multiphysics 5.3a* untuk mendapatkan daya listrik, *losses* sistem, rasio performa dan faktor kapasitas pembangkit. Pada perancangan ini memanfaatkan luas permukaan dinding sebesar 490.3 m² dengan kapasitas daya yang dihasilkan sebesar 110.88 kWp yang menggunakan 336 buah modul surya REC Solar 330 Wp dan 2 buah inverter SMA Sunny TriPower 60k menghasilkan energi sebesar 57.79 MWh setiap tahunnya, dengan *losses* sistem sebesar 15.86%, *performa ratio* 84% dan *capacity factor* sebesar 5.94%. Pada analisis ekonomis Pembangkit listrik BIPV di gedung Rektorat UIN Suska Riau memerlukan investasi awal sebesar Rp 1,535,432,913.00 yang terdiri dari biaya operasi dan perawatan sebesar Rp15,354,329.00, biaya penggantian inverter sebesar Rp 152,994,310.00 dan nilai *Life Cycle Cost* (LCC) sebesar Rp 1,836,350,782.00. Pada analisis finansial didapatkan nilai *Net Present Value* (NPV) positif sebesar Rp 2,680,286,383.00, *Internal Rate of Return* (IRR) 10.6% dan *Simple Payback* 10.8 Tahun. Sedangkan pada analisis emisi, perancangan pembangkit ini mampu mengurangi emisi CO₂ sebesar 42.18 ton CO₂/tahun.

Kata Kunci: *Comsol Multiphysic, BIPV, On-Grid, Emisi CO₂*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ON-GRID SYSTEM BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV) POWER PLANT (Case Study: Rectorate Building of UIN SUSKA Riau)

AIF NUGROHO
NIM: 11555102683

Date of Examination: 24 August 2020

Electrical Engineering Study Program
Faculty of Science and Technology
Sultan Syarif Kasim State Islamic University, Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The UIN Suska Riau Rectorate Building is a building that has the largest electricity consumption of all buildings in UIN Suska Riau, where the rector's electrical energy consumption is 33% of the total electricity consumption in a year. To reduce the burden of energy consumption in the UIN Suska Riau Rectorate building, this study offers a solution in the form of a BIPV system design. The objectives of this research are to design a BIPV power plant in the walls of the UIN Suska Riau Rectorate building, analyze the technical aspects of the BIPV power plant in the Rector UIN Suska Riau building, analyze the economic aspects of the BIPV power plant in the UIN Suska Riau Rectorate building and analyze the reduction of emissions from the design the BIPV power plant in the UIN Suska Riau Rectorate building. The method used in the design of this power plant is the BIPV on-grid system. The results obtained from this study are in the form of technical analysis produced using comsol multiphysics 5.3a to obtain electrical power, system losses, performance ratios and generating capacity factors, This design utilizes a wall surface area of 490.3 m² with a power capacity generated of 110.88 kWp using 336 REC Solar 330 Wp modules and 2 SMA Sunny TriPower 60k inverters to produce energy of 57.79 MWh each year, annually, with system losses of 15.86%, performance ratio 84% and capacity factor of 5.94%. In the economic analysis The BIPV power plant in the UIN Suska Riau Rectorate building requires an initial investment of Rp 1,535,432,913.00, consisting of operating and maintenance costs of Rp15,354,329.00, the cost of replacing the inverter for Rp152,994,310.00 and a Life Cycle Cost (LCC) value of Rp 1,836,350,782.00. In financial analysis obtained a positive Net Present Value (NPV) of Rp 2,680,286,383.00, Internal Rate of Return (IRR) 10.6% and Simple Payback 10.8 years. Whereas in the emission analysis, the design of this plant was able to reduce CO₂ emission by 42.18 tonCO₂ / year.

Keywords: Comsol Multiphysics, BIPV, CO₂ Emissions

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalammu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadiran Allah Swt atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Tidak lupa penulis bershalawat kepada Nabi dan Rasul-Nya, Nabi Muhammad SAW yang hanya menginginkan keimanan dan keselamatan bagi umatnya dan sangat belas kasihan lagi penyayang kepada orang-orang mukmin.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akhir untuk mendapatkan kelulusan pada jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Banyak sekali pihak yang telah membantu penulis dalam memperoleh ilmu pengetahuan dan pengalaman dalam penyusunan laporan ini, baik berupa bantuan materi ataupun berupa motivasi dan dukungan kepada penulis. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Teristimewa Kedua Orang tua penulis, serta kakak, abang, adik-adik dan keluarga besar yang telah mendo'akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. KH. Akhmad Mujahidin, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku ketua program studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Mulyono, ST., MT, selaku Sekretaris Ketua program studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT, sebagai koordinator Tugas Akhir yang telah banyak membantu dalam menyusun jadwal dan koordinasi dengan para pembimbing.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc., selaku pembimbing Tugas Akhir dari program studi yang telah memberi bimbingan, arahan, dan saran yang berharga dalam menyusun Laporan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Rika Susanti, ST., M.Eng selaku ketua sidang, yang telah memberi bimbingan, arahan, kritik dan saran yang berharga demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir.
9. Ibu Susi Afriani, ST., MT, selaku penguji I, yang telah memberi bimbingan, arahan, kritik dan saran yang berharga demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir.
10. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT, selaku penguji II, yang telah memberi bimbingan, arahan, kritik dan saran yang berharga demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir.
11. Pimpinan, staff dan karyawan program studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.
12. Spesial untuk Syarafina Mardhiyah yang telah memberikan semua hal mulai dari segi teori, materi, motivasi dan kesabaran serta perhatiannya kepada penulis baik dalam bentuk nyata maupun tidak sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
13. Nenggala Family Ade Akhir, Agus tami, Brillian Dirgayansya, Deswita Adlyani, Gilang pradipta, Hamzah Al-Paresi, Kevin Mayeka, Meisha Desionasista, Muhammad Afdhol, Rezky Tobing, Reza Zulkarnaen, Riezky Adler, Syahrizal Ma'ruf, Yoses Nael.
14. Seluruh abang-abang, kakak-kakak angkatan 2012 Teknik Elektro UIN SUSKA Riau yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu yang selalu mendukung dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.
15. Sahabat Seperjuangan Ahmad Busyra, Fadly Gustiawan, Doni Kurniadi, Imam Kusroni, Fadhli Syaifurrahman, Misbachul Badri, Bagas Satria, Agung Wahyudi, Rahmad Ridwansyam.
16. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro 2015 UIN SUSKA Riau serta teman-teman Konsentrasi Energi yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu yang selalu mendukung dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.
17. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE) UIN SUSKA Riau.
18. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Aamiin Ya Allah Summa Aamiin Ya Rabbal Alamiin
Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 24 Agustus 2020

Arif Nugroho

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR ISI

Halaman

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR GRAFIK	xx
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR RUMUS	xxiii
SINGKATAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-5
1.4 Batasan Masalah	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Studi Literatur	II-1
2.2 Sel Surya (<i>Photovoltaic</i>).....	II-4
2.3 Karakteristik <i>Photovoltaic</i>	II-4
2.3.1 Arus <i>Short Circuit</i>	II-5
2.3.2 Tegangan Rangkaian Terbuka (<i>Voc</i>)	II-5

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.3	Faktor Pengisian (<i>Fill Factor</i>).....	II-5
2.3.4	Efisiensi Sel Surya.....	II-5
2.3.5	<i>Maximum Power Point</i> (MPP)	II-6
2.4	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	II-6
2.5	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja PLTS	II-6
2.5.1	Radiasi	II-6
2.5.2	Sudut Kemiringan Modul Surya.....	II-7
2.5.3	Orientasi Modul Surya.....	II-8
2.5.4	Temperatur.....	II-9
2.5.5	Kecepatan Angin Bertiup	II-9
2.5.6	Keadaan Atmosfer	II-9
2.6	PLTS <i>Grid-Connected</i>	II-10
2.6.1	Sistem Dengan Penyimpanan	II-19
2.6.2	Sistem Tanpa Batrai.....	II-10
2.7	Komponen PLTS <i>Grid-Connected</i>	II-11
2.7.1	Modul Surya	II-11
2.7.1.1	Jenis Modul Surya	II-12
2.7.2	Inverter.....	II-13
2.7.2.1	Jenis-Jenis Inverter	II-14
2.7.2.2	Konfigurasi Inverter	II-15
2.8	<i>Building Integrated Photovoltaic</i> (BIPV).....	II-17
2.8.1	Persamaan Matematik BIPV	II-20
2.9	Keseimbangan Sistem.....	II-21
2.9.1	Kabel.....	II-22
2.9.1.1	Kabel DC	II-22
2.9.1.2	Kabel AC	II-22
2.9.1.3	Kabel Pembumian.....	II-22
2.9.1.4	Kotak Persimpangan Array	II-22
2.9.2	Perangkat Pemutus	II-22
2.9.3	Meteran.....	II-23
2.10	Rugi-rugi pada PLTS <i>Grid-Connected</i>	II-24
2.10.1	Temperatur Modul Surya.....	II-24
2.10.2	Kotoran (<i>Soilage</i>)	II-24

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.10.3 Toleransi Pabrikasi (<i>Manufacture Tolerance</i>)	II-25
2.10.4 Bayangan (<i>Shading</i>)	II-25
2.10.5 Efisiensi Inverter.....	II-26
2.10.6 Pengurangan Sistem	II-26
2.11 Perancangan Sistem PLTS <i>Grid-Connected</i>	II-26
2.11.1 Penilaian Lokasi PLTS	II-27
2.11.2 Penilaian Radiasi Matahari.....	II-27
2.11.3 Analisis <i>Shading</i>	II-27
2.11.4 Pemilihan Modul Surya	II-28
2.11.5 Sistem Pemasangan (<i>Mounting System</i>).....	II-29
2.11.6 Pemilihan Inverter.....	II-29
2.11.7 <i>Array Sizing</i>	II-29
2.11.7.1 Menyesuaikan <i>Array</i> dengan Tegangan Inverter.....	II-29
2.11.7.2 Menyesuaikan <i>Array</i> Dengan <i>Current Rating</i> Inverter	II-31
2.11.7.3 Menyesuaikan <i>Array</i> Dengan <i>Power Rating</i> Inverter	II-31
2.11.8 Sistem Proteksi <i>Sub-Array</i> dan <i>Array</i>	II-31
2.11.9 <i>Cable Sizing</i>	II-32
2.12 Analisis Hasil Produksi Energi Sistem PLTS.....	II-33
2.12.1 Menentukan <i>Output</i> Dari PLTS ke <i>Grid-Connected</i>	II-33
2.12.2 Rasio Performa (<i>Performance Ratio</i>).....	II-33
2.12.3 Faktor Kapasitas (<i>Capacity Factor</i>)	II-33
2.13 Aspek Ekonomi	II-34
2.13.1 Aspek Biaya.....	II-34
2.13.1.1 <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	II-34
2.13.1.2 <i>Present Worth Factor</i> (PWF)	II-35
2.13.1.3 <i>Cash Flow Analysis</i> (CFA).....	II-35
2.13.2 Analisa Finansial	II-36
2.13.2.1 <i>Net Present Value</i> (NPV)	II-36
2.13.2.2 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	II-36
2.13.2.3 <i>Simple Payback</i> (SP)	II-37
2.14 Aspek Emisi.....	II-37
2.15 <i>Comsol Multiphysics</i>	II-38
2.16 <i>Sketchup Pro</i>	II-39

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian	III-1
3.2	Lokasi Penelitian	III-1
3.3	Prosedur Penelitian	III-2
3.4	Tahap Perencanaan	III-3
3.4.1	Identifikasi Masalah	III-3
3.4.2	Studi Literatur.....	III-4
3.4.3	Rumusan Masalah.....	III-4
3.4.4	Tujuan Penelitian.....	III-4
3.5	Pengumpulan Data.....	III-4
3.5.1	Data Primer.....	III-4
3.5.2	Data Sekunder.....	III-5
3.6	Perancangan Pembangkit Listrik <i>BIPV On-Grid System</i>	III-5
3.6.1	Penilaian Lokasi	III-6
3.6.2	Pemilihan Komponen BIPV	III-6
3.6.3	Pemodelan Sistem BIPV	III-6
3.6.4	Menentukan Jumlah PV Array	III-7
3.6.5	<i>Matching Array</i> Dengan Inverter	III-7
3.6.6	Sistem Proteksi	III-7
3.6.7	<i>Cable sizing</i>	III-7
3.6.8	Pemilihan <i>Mounting System</i>	III-8
3.6.9	Diagram Kelistrikan	III-8
3.6.10	<i>Layout</i> Hasil Rancangan.....	III-8
3.7	Aspek Teknis	III-12
3.7.1	Losses.....	III-12
3.7.2	Hasil Produksi Listrik	III-12
3.7.3	Rasio Performa (<i>Performa Ratio</i>).....	III-13
3.7.4	Faktor Kapasitas (<i>Capacity Factor</i>).....	III-13
3.8	Aspek Ekonomi	III-13
3.8.1	Analisis Biaya	III-14
3.8.1.1	Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost Analysis</i>)	III-14
3.8.1.2	<i>Cash Flow Analysis</i> (CFA)	III-14
3.8.2	Analisis Finansial.....	III-15

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

3.8.2.1	<i>Net Present Value (NPV)</i>	III-15
3.8.2.2	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	III-15
3.8.2.3	<i>Simple Payback (SP)</i>	III-15
3.9	Analisis Emisi.....	III-15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perancangan Pembangkit Listrik BIPV <i>On- Grid System</i>	IV-1
4.2	Penilaian Lokasi (<i>Site Assesment</i>)	IV-1
4.2.1	Gambaran Umum Lokasi	IV-1
4.2.2	<i>Resource Assesment</i>	IV-2
4.2.2.1	Radiasi Matahari	IV-2
4.2.2.2	Temperatur.....	IV-6
4.2.2.3	Kecepatan Angin.....	IV-8
4.2.2.4	Tekanan Udara.....	IV-9
4.2.3	Penilaian Konstruksi Bangunan	IV-9
4.3	Pemilihan Komponen BIPV	IV-10
4.3.1	Pemilihan Modul Surya	IV-11
4.3.2	Pemilihan Inverter.....	IV-12
4.4	Model Sistem BIPV	IV-13
4.4.1	Validasi.....	IV-15
4.4.2	Temperatur Modul PV.....	IV-16
4.4.3	Menghitung Efisiensi Modul PV	IV-17
4.4.4	Losses Efisiensi Akibat Temperatur.....	IV-19
4.5	Menentukan Jumlah PV Array	IV-20
4.6	<i>Matching Array</i> Dengan Inverter.....	IV-21
4.6.1	Menyesuaikan <i>Array</i> Dengan Tegangan Inverter	IV-21
4.6.2	Menyesuaikan <i>Array</i> Dengan <i>Current Rating</i> Inverter	IV-24
4.6.3	Menyesuaikan <i>Array</i> Pada <i>Power Rating</i> Inverter	IV-24
4.7	Sistem Proteksi	IV-25
4.7.1	Menyesuaikan Proteksi <i>Circuit</i> Antara PV Dan Inverter	IV-25
4.7.2	Menyesuaikan Proteksi <i>Circuit</i> Antara Inverter Dengan <i>Busbar</i>	IV-26
4.7.3	Menyesuaikan Proteksi <i>Circuit</i> Antara <i>Busbar</i> Dengan kWh Meter....	IV-26
4.8	<i>Cable Sizing</i>	IV-27
4.9	Pemilihan <i>Mounting System</i>	IV-29

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.10	Diagram Kelistrikan.....	IV-30
4.11	Layout Hasil Perancangan Pembangkit Listrik BIPV On-Grid System	IV-30
4.12	Analisis Teknis	IV-32
4.12.1	Losses.....	IV-33
4.12.2	Hasil Produksi Energi Listrik.....	IV-34
4.12.2.1	Daya Yang Dihasilkan Perbulan Dalam 1 Tahun.....	IV-34
4.12.2.2	Hasil Produksi Energi Listrik Pertahun	IV-37
4.12.3	Rasio Performa (<i>Performa Ratio</i>).....	IV-38
4.12.4	Faktor Kapasitas (<i>Capacity Factor</i>).....	IV-38
4.12.5	Hasil Ringkasan Analisis Teknis Perancangan BIPV On-Grid System	IV-39
4.13	Analisis Ekonomi.....	IV-39
4.13.1	Analisis Biaya	IV-39
4.13.1.1	<i>Life Cycle Cost Analysis (LCCA)</i>	IV-41
4.13.1.2	<i>Cash Flow Analysis (CFA)</i>	IV-41
4.13.2	Analisis Finansial.....	IV-45
4.13.2.1	<i>Net Present Value (NPV)</i>	IV-45
4.13.2.2	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	IV-46
4.13.2.3	Simple Payback (SP)	IV-48
4.13.2.4	Hasil Analisis Ekonomi Pembangunan Pembangkit Listrik BIPV	IV-48
4.14	Analisis Emisi	IV-49

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Karakteristik Variasi Tegangan Terhadap Radiasi	II-7
2.2 Sudut Kemiringan Modul Surya.....	II-8
2.3 Orientasi Modul Surya	II-8
2.4 Temperatur Pada Panel Surya	II-9
2.5 Sistem PLTS <i>Grid-Connected</i> Dengan Baterai	II-10
2.6 Sistem PLTS <i>Grid-Connected</i> Tanpa Baterai	II-11
2.7 <i>Monocrystalline</i>	II-12
2.8 <i>Polycrystalline</i>	II-13
2.9 <i>Thin Film Photovoltaic</i>	II-13
2.10 <i>Micro Inverter</i>	II-14
2.11 <i>String Inverter</i>	II-15
2.12 <i>Central Inverter</i>	II-15
2.13 Konfigurasi <i>Photovoltaic Inverter</i> Terpusat	II-16
2.14 Konfigurasi <i>Multi-String Inverter</i>	II-16
2.15 Konfigurasi <i>Inverter Multi-String</i>	II-17
2.16 Konfigurasi <i>Inverter Modul AC</i>	II-17
2.17 Penerapan BIPV pada dinding Bangunan.....	II-18
2.18 <i>BIPV Facade</i>	II-19
2.19 <i>BIPV Windows</i>	II-19
2.20 <i>BIPV Roof</i>	II-20
2.21 Konfigurasi Meteran <i>Bruto</i>	II-23
2.22 Konfigurasi Meteran <i>Neto</i>	II-24
3.1 Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau	III-1
3.2 Prosedur Penelitian	III-3
3.3 Diagram Simulasi <i>Comsol Multiphysics</i>	III-7
3.4 Pemilihan <i>Spacedimensions</i>	III-8
3.5 Pemilihan <i>Sub Modul Fluid Flow dan Heat Transfer</i>	III-8
3.6 Kolom Tabel pada <i>Comsol Multiphysic</i>	III-9
3.7 Model Geometry BIPV pada <i>Comsol Multiphysic</i>	III-9

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.8	Material BIPV	III-10
3.9	Jaring-jaring <i>Mesh</i>	III-10
4.1	Peta UIN SUSKA Riau.....	IV-2
4.2	PVWatts <i>Calculator</i>	IV-3
4.3	<i>Solar Resource Data</i> Rektorat UIN SUSKA Riau	IV-3
4.4	System Info “kolom <i>tilt deg</i> dan <i>azimuth deg</i> ”	IV-4
4.5	Data radiasi matahari Orientasi Utara	IV-4
4.6	Satuan Radiasi Matahari Pada Comsol.....	IV-5
4.7	Satuan Temperatur dalam Comsol	IV-7
4.8	Model Sistem BIPV	IV-10
4.9	Modul <i>Turbulent flow</i> , k-w (spf)	IV-13
4.10	Modul <i>Heat Transfer in Fluid</i>	IV-14
4.11	Modul <i>Heat Radiation</i> , <i>Heat Transfer in Fluids</i> (ht)	IV-14
4.12	Grafik <i>Velocity</i> (a) Jurnal Rujukan [12] dan (b) Hasil Pemodelan.....	IV-15
4.13	Persamaan Temperatur Sel Pada Comsol.....	IV-16
4.14	Nilai Temperatur Sel PV Orientasi Timur.....	IV-16
4.15	Persamaan Efisiensi Sel PV pada Comsol.....	IV-17
4.16	Nilai Efisiensi Sel PV Orientasi Timur	IV-18
4.17	Modul Surya <i>Polycrystalline</i> REC Solar 330 Wp.....	IV-20
4.18	Penempatan Modul Surya Pada Dinding gedung Rektorat	IV-21
4.19	Rancangan <i>Mounting System</i>	IV-29
4.20	Diagram Kelistrikan Pembangkit Listrik BIPV On-Grid	IV-30
4.21	<i>Layout</i> Rancangan <i>BIPV System</i> Tampak Depan dan Belakang	IV-30
4.22	<i>Layout</i> Rancangan <i>BIPV System</i> Tampak Samping	IV-31

DAFTAR GRAFIK

Grafik	Halaman
4.1 Temperatur Udara ($^{\circ}\text{C}$)	IV-7
4.2 Kecepatan Angin	IV-8
4.3 Tekanan Udara di Pekanbaru.....	IV-9
4.4 Hasil Produksi Energi Listrik Sebulan Selama 1 Tahun Orientasi Timur..	IV-35
4.5 Hasil Produksi Energi Listrik Sebulan Selama 1 Tahun Orientasi Selatan	IV-35
4.6 Hasil Produksi Energi Listrik Sebulan Selama 1 Tahun Orientasi Barat ...	IV-36
4.7 Hasil Produksi Listrik Sebulan Selam 1 Tahun Orientasi Utara	IV-36
4.8 Produksi Listrik BIPV dari Tahun 1 Sampai Tahun Ke- 20.....	IV-37

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1	Pengurangan Sistem dari Waktu ke Waktu II-26
4.1	Radiasi Matahari Setiap Orientasi IV-5
4.2	Radiasi Matahari Setiap Orientasi dalam (W/m^2)..... IV-6
4.3	Data Temperatur IV-7
4.4	Tabel <i>Properties</i> Bangunan IV-10
4.5	Spesifikasi Modul Surya..... IV-11
4.6	Spesifikasi Inverter IV-12
4.7	Nilai temperatur Sel PV..... IV-16
4.8	Efisiensi sel PV IV-18
4.9	Hasil Perhitungan Losses Efisiensi Akibat Temperatur IV-19
4.10	Hasil <i>Matching Array</i> dan Inverter..... IV-25
4.11	Perangkat Proteksi IV-26
4.12	Ukuran Kabel..... IV-29
4.13	Spesifikasi rancangan <i>BIPV On- Grid</i> IV-31
4.14	<i>Losses</i> Perancangan <i>BIPV On- Grid System</i> IV-34
4.15	Ringkasan Analisis Teknis Pembangkit Listrik BIPV..... IV-39
4.16	Biaya Investasi Awal BIPV On-Grid System..... IV-40
4.17	Hasil <i>Life Cycle Cost Analysis</i> Sistem BIPV..... IV-42
4.18	BIPV <i>Annually</i> kas masuk IV-43
4.19	BIPV <i>Annually</i> Uang Keluar IV-44
4.20	Tabel Analisa NPV IV-45
4.21	Perhitungan NPV dengan Bunga Bank..... IV-47
4.22	Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik BIPV..... IV-48

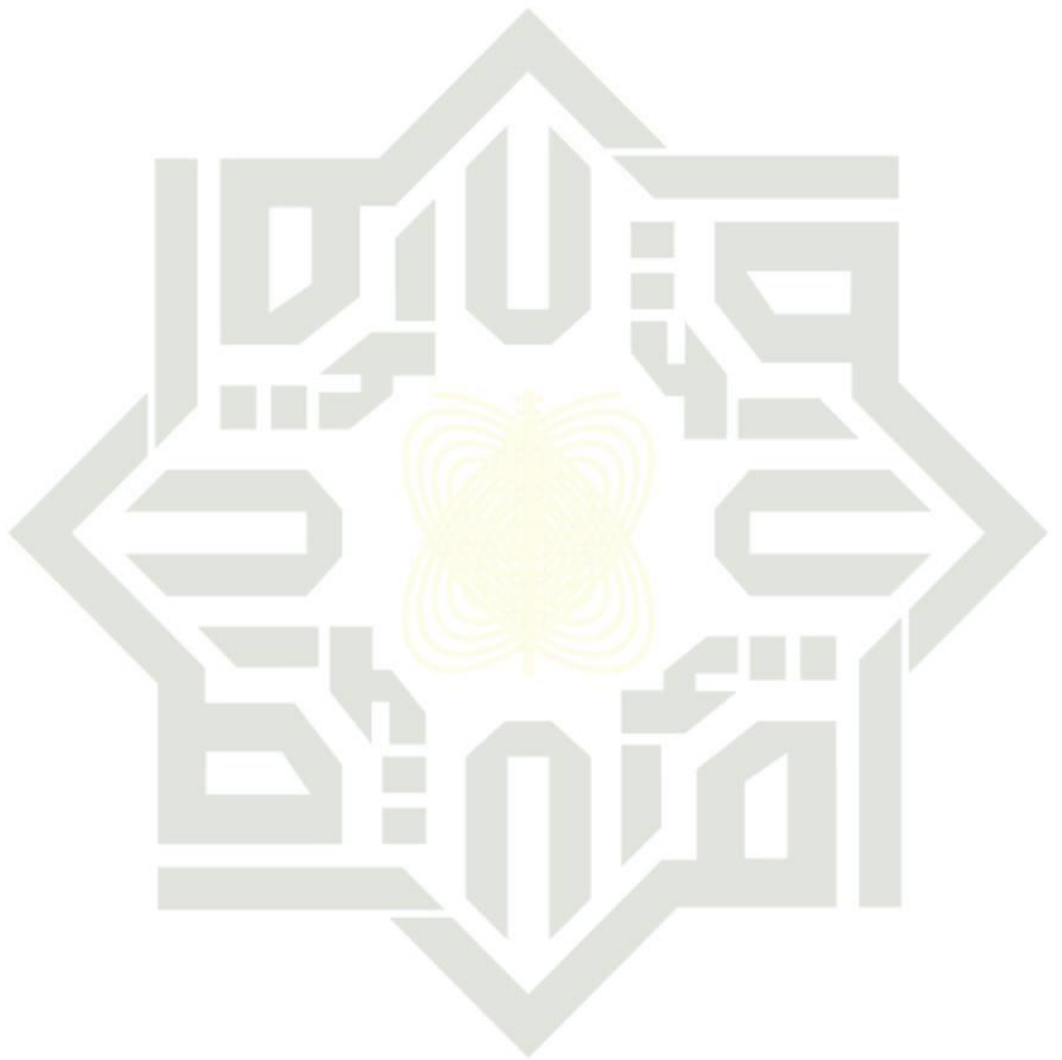
DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Faktor Pengisian (<i>Fill Factor</i>)	II-5
2.2 Kontinuitas Konservasi energi	II-20
2.3 Persamaan Konservasi momentum - X	II-20
2.4 Persamaan Konservasi momentum - Y	II-20
2.5 Persamaan Konservasi Energi	II-21
2.6 Persamaan perubahan energi kinetik turbulen	II-21
2.7 Persamaan disipasi energi turbulen.....	II-21
2.8 Persamaan disipasi energi turbulen lanjutan.....	II-21
2.9 Efisiensi Sel Surya	II-28
2.10 <i>Energy Yield</i>	II-29
2.11 Minimum Tegangan Inverter	II-30
2.12 Maksimum Tegangan Inverter.....	II-30
2.13 Tegangan Yang Lebih Tinggi.....	II-30
2.14 Jumlah Maksimum Modul.....	II-30
2.15 <i>String Paralel Array</i>	II-30
2.16 <i>String Pada Inverter</i>	II-31
2.17 Maksimum Modul Dalam <i>Array</i>	II-31
2.18 <i>Fuse (Dc Isolator)</i>	II-31
2.19 Proteksi <i>Sub-Array</i>	II-31
2.20 Arus Minimal <i>DC Isolator</i>	II-32
2.21 Proteksi <i>Circuit</i> Antara Inverter dan <i>Busbar</i>	II-32
2.22 Proteksi <i>Circuit</i> Antara Inverter dan <i>Busbar</i>	II-32
2.23 <i>Cable Sizing</i>	II-32
2.24 <i>Output Energi Rata-Rata dari Array PV</i>	II-33
2.25 Rasio Performa	II-33
2.26 <i>Capacity Factor</i>	II-34
2.27 <i>Life Cycle Cost (LCC)</i>	II-34
2.28 O&M.....	II-35
2.29 <i>Present Worth Factor (PWF)</i>	II-35

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.30	<i>Cash Flow Benefit (CFB)</i>	II-35
2.31	<i>Cash Flow Cost (CFC)</i>	II-35
2.32	<i>Net Present Value (NPV)</i>	II-36
2.33	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	II-37
2.34	<i>Simple Payback (SP)</i>	II-37
2.35	Pengurangan Emisi	II-38



UIN SUSKA RIAU

SINGKATAN

=	<i>Photovoltaic</i>
=	<i>Building Integrated Photovoltaic</i>
=	<i>Maximum Power Point</i>
=	<i>Life Cycle Cost</i>
=	<i>Present Worth Factor</i>
=	<i>Cash Flow Analysis</i>
=	<i>Cash Flow Benefit</i>
=	<i>Cash Flow Cost</i>
=	<i>Net Present Value</i>
=	<i>Internal Rate of Return</i>
=	<i>Simple Payback</i>

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

PV
BIPV
MPP
LCC
PWF
CFA
CFB
CFC
NPV
IRR
SP

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama manusia saat ini, energi listrik memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan baik dari kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum. Di Indonesia pemenuhan kebutuhan listrik masih sebagian besar menggunakan layanan PT.PLN (Perusahaan Listrik Negara). Pemerintah memberi wewenang sepenuhnya kepada PT.PLN untuk menyediakan serta mengatur distribusi listrik ke seluruh Indonesia guna mendukung pertumbuhan ekonomi sesuai dengan Undang-Undang No.15 tahun 1985. Pada kenyataannya PT.PLN masih kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik ke seluruh Indonesia [1].

Permasalahan kelistrikan yang terjadi di Indonesia saat ini yaitu kebutuhan listrik meningkat pesat dibandingkan pemenuhan pasokan listrik. Menurut PT.PLN pada tahun 2016, dalam kurun waktu lima tahun terakhir pertumbuhan pembangunan pembangkit listrik sebesar 6.5% per tahun, tidak dapat memenuhi pertumbuhan permintaan energi listrik yang mencapai 8.5%. ketertinggalan ini disebabkan oleh berbagai permasalahan, seperti pembebasan dan penyediaan lahan untuk membuat sebuah pembangkit tenaga listrik dan lain-lainnya [2].

Kebutuhan energi di Indonesia saat ini sebagian besar terpenuhi oleh energi yang bersumber dari energi fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam. Namun dengan meningkatnya ketersediaan energi fosil di Indonesia, pemanfaatan energi alternatif harus ditingkatkan. Sumber energi baru dan terbarukan sekarang ini memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Sumber energi baru dan terbarukan dikembangkan di Indonesia sebagai energi alternatif untuk menggantikan energi fosil dalam memenuhi kebutuhan energi yang semakin hari semakin meningkat.

Potensi sumber daya energi baru dan terbarukan yang terdapat di Indonesia menurut jenis energinya yaitu: Geothermal (29,544MW), *micro hydro* (75,091 MW), biomassa/biogas (32,654 MWe), energi surya (4.80 kWh/m²/day), energi angin (970 MW) dan masih banyak potensi EBT lainnya yang ada [2]. Kondisi Indonesia yang masih bergantung pada energi fosil dan dengan potensi energi baru dan terbarukan yang besar, maka Pemerintah telah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) seperti tertuang

dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014, mengamanatkan persentase pemanfaatan energi baru dan terbarukan minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Dengan target tersebut pengembangan EBT dapat dioptimalkan sekaligus dapat memanfaatkan energi yang ramah lingkungan serta dapat membantu mengurangi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat.

Berdasarkan potensi EBT yang ada di Indonesia salah satu inovasi pengembangan energi alternatif dan berkelanjutan adalah energi surya. Hal ini dikarenakan Indonesia berada pada garis khatulistiwa sehingga energi surya ada sepanjang tahun. Menurut ESDM, potensi energi surya di Indonesia yang sangat besar yakni sekitar 4.8 kWh/m^2 atau setara dengan 112,000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya dimasa depan [3].

Energi matahari yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya yang dapat dimanfaatkan dengan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik melalui teknologi *Photovoltaic* (PV). Prinsip dasar konversi energi matahari menjadi energi listrik terjadi ketika PV menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menghasilkan arus listrik [4].

Dalam penerapannya, energi surya dapat dimanfaatkan menggunakan sistem *on-grid* dan *off-grid*, selain itu keterbatasan lahan menjadi persoalan utama dalam pembangunan PLTS skala besar, susahnya pembebasan lahan dan lokasi belum sepenuhnya dekat dari pusat beban. Dari permasalahan tersebut solusi yang dapat diambil yaitu mendorong pembangunan PLTS yang di integrasikan pada bangunan yaitu *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) *System* merupakan inovasi implementasi PV pada bangunan dengan menjadikan modul PV sebagai bagian dari bangunan itu sendiri. Modul PV dapat berfungsi sebagai atap, dinding atau apapun yang merupakan bagian dari bangunan [5]. Kombinasi ini memungkinkan BIPV tidak hanya sebagai fungsi pembangkit listrik tetapi juga untuk menjadi bagian dari *facade* bangunan, sistem BIPV memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perpindahan panas melalui selubung bangunan. Maka

penting untuk menemukan konfigurasi sistem yang akan meningkatkan efisiensi PV dan tidak meningkatkan beban pendinginan pada bangunan [6].

BIPV memiliki kelebihan seperti pada instalasi PV pada umumnya yaitu sebagai pembangkit listrik baik pada skala kecil maupun skala besar. Namun BIPV memiliki kelebihan lainnya seperti tidak memerlukan lokasi khusus untuk instalasinya, cukup diintegrasikan pada sisi luar bangunan seperti dinding, jendela ataupun atap. BIPV juga dapat mengurangi panas yang masuk kedalam ruangan gedung, baik gedung perkantoran, rumah dan lainnya. Pada instalasi BIPV, PV tidak mengganggu desain arsitektur secara bentuk dan juga dapat menambah nilai estetika pada bangunan.

Pemakaian energi listrik yang paling besar di Indonesia didominasi oleh bangunan gedung. Bangunan gedung merupakan salah satu sektor dengan konsumsi energi mencapai 23% dari konsumsi energi seluruh sektor, dimana konsumsi energi bangunan di Indonesia tergolong boros [7]. Salah satu contoh bangunan perkantoran ini adalah gedung Rektorat UIN SUSKA Riau. Sebagai lembaga pendidikan, UIN SUSKA RIAU dalam memenuhi pelayanan untuk meningkatkan kinerja mahasiswa, dosen, serta karyawan kebutuhan akan listrik sangat diperlukan. Pentingnya akan kebutuhan listrik dalam memenuhi pelayanan juga dipengaruhi dengan pasokan listrik yang dibutuhkan. Rektorat merupakan gedung dengan konsumsi energi listrik terbesar di antara seluruh gedung yang berada di lingkungan UIN SUSKA Riau baik gedung fakultas maupun non-fakultas dengan konsumsi energi listrik senilai 1208.1 kWh atau 33% dari total konsumsi energi listrik dalam setahun. Pemakaian listrik terbesar bangunan gedung Rektorat didominasi oleh penggunaan AC sebesar 70%, komputer sebesar 19%, penerangan 6%, lain-lain 4% dan dispenser 1%. Adapun daya yang dibutuhkan oleh gedung rektorat sebesar 414,652.9 VA dengan 630A [8]. Hal ini berarti Rektorat UIN SUSKA Riau harus mengeluarkan dana pembayaran listrik kepada PT. PLN yang cukup besar.

Untuk mengatasi konsumsi energi listrik yang besar pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau maka diperlukan suatu solusi agar dapat mengurangi biaya konsumsi energi listrik dari gedung rektorat. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan melakukan pemasangan sistem PV pada gedung rektorat. Solusi ini telah dilakukan pada penelitian [9] yang berjudul *Analisa Teknis dan Ekonomi PLTS Rooftop PV System Grid-Connected Pada Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau*. Menghasilkan analisis teknis dan ekonomi serta menganalisis pengurangan emisi gas CO₂. Hasil dari penelitian ini didapatkan kapasitas pembangkit sebesar 81.638 MWh pertahunnya,. Analisis ekonomi dengan metode *Life*

Cycle Cost (LCC) menghasilkan sebesar Rp 2,527,130,813 dan biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 19,888,487 dan biaya penggantian sebesar Rp 748,629,000. Hasil penelitian ini menunjukkan proyek pembangkit listrik ini tidak layak untuk dibangun karena nilai NPV, IRR dan *Simple Payback* kecil dari nol dikarenakan nilai investasi awal terlalu besar.

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas peneliti tertarik untuk mengembangkan/ memperluas penelitian [9] dengan melakukan perancangan pembangkit listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System* berventilasi yang diintegrasikan di *façade* bangunan yaitu pada dinding bangunan gedung rektorat UIN SUSKA Riau. Penelitian ini ingin memanfaatkan luas dari Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dengan luas bangunan sebesar 7260 m². Ketinggian gedung tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan gedung lainnya di lingkungan UIN SUSKA Riau sehingga lebih banyak menerima sinar matahari, dengan luas setiap orientasi dindingnya yaitu: orientasi timur sebesar 127.9 m², orientasi barat sebesar 137.18 m², serta orientasi utara dan selatan sebesar 112.3 m² [10], dimana akan lebih maksimal untuk pemanfaatan radiasi sinar matahari dalam perancangan pembangunan pembangkit listrik BIPV sistem di dinding bangunan gedung Rektorat.

Dari penjelasan diatas bahwa untuk mengatasi permasalahan tingginya konsumsi energi listrik pada gedung rektorat UIN SUSKA Riau, maka pemasangan sistem BIPV perlu dilakukan. Pada penelitian ini penulis melakukan perancangan pembangkit listrik BIPV menggunakan buku panduan *GSES (Global Sustainable Energy Solutions)*. Dalam perancangan pembangkit listrik BIPV ini dilakukan analisis aspek teknis dan aspek ekonomis. Pada awalnya peneliti akan menghitung *assesment resource* menggunakan penelitian [11] sebagai standar untuk menghitung temperatur pada sel PV serta efisiensi dari sel PV dari sistem BIPV berventilasi dengan menggunakan *software Comsol Multiphysics 5.3a*. untuk analisis aspek ekenomis akan dilakukan dengan menghitung nilai *Life Cycle Cost (LCC)*, *Net present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)* dan nilai *Simple Payback (SP)* serta peneliti menganalisis mengenai aspek emisi yang membahas dampak pengurangan emisi karbon dioksida yang dilakukan setelah adanya perancangan ini.. Berdasarkan permasalahan dan peluang diatas penulis ingin melakukan sebuah penelitian yang berjudul **“Perancangan Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System* (Studi Kasus: Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau)**

1.2 Rumusan Masalah

adalah:

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik *BIPV On-Grid System* yang memanfaatkan dinding gedung Rektorat UIN SUSKA Riau?
2. Bagaimana analisis teknis dan ekonomi dari perancangan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau?
3. Berapa besar pengurangan emisi dengan adanya Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau?
4. Bagaimana menghasilkan *layout* perancangan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan rancangan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.
2. Menghasilkan analisis aspek teknis dan ekonomi pada perancangan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.
3. Menghasilkan analisis pengurangan emisi dari sistem Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid* yang telah dirancang.
4. Menghasilkan *layout* perancangan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid System* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan di Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dimana *BIPV* yang diterapkan hanya di *façade* bangunan, yaitu pada dinding bangunan Rektorat UIN SUSKA Riau.
2. Radiasi matahari harian yang digunakan pada perancangan ini menggunakan data dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* tahun 2019 yang diambil menggunakan *tools PVWatts*.
3. Temperatur udara, tekanan udara dan kecepatan angin yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan data dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* tahun 2019.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Sistem BIPV yang dirancang merupakan pembangkitan listrik pada sistem *On-Grid* tanpa baterai.
5. Analisa pada penelitian ini hanya membahas aspek teknis, aspek ekonomi dan emisi.
6. Analisa teknis dalam penelitian ini menggunakan aliran fluida pada ventilasi dianggap turbulen dan dalam keadaan *steady state* serta permukaan PV dianggap tidak ada gangguan dari material apapun.
7. Analisa ekonomi dalam penelitian ini hanya membahas total *Life Cycle Cost* (LCC), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Simple Payback* (SP) pembangkit selama umur 20 tahun.
8. Analisa emisi pada penelitian ini hanya membahas pengurangan emisi CO₂ yang dapat dikurangi dari sistem pembangkit yang telah dirancang.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakannya penelitian perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *grid-connected* pada gedung pemerintah ini dapat memberikan kontribusi yang positif diantaranya:

1. Penelitian ini diharapkan menjadi tambahan referensi terhadap kajian *Photovoltaic* (PV) dalam bidang akademis.
2. Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini dapat memberikan pedoman kepada pengelola gedung maupun badan usaha untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan sebagai acuan dalam pengembangan investasi PLTS *grid-connected* pada gedung pemerintah.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi bagi pemerintah untuk mengurangi konsumsi energi fosil dan mengganti dengan energi terbarukan.
4. Penelitian ini bermanfaat untuk gerakan pengurangan pemanasan global.

UIN SUSKA RIAU

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada penelitian tugas akhir ini didapat dari studi literatur yang bersumber dari penelitian terdahulu tentang pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik yang telah dilakukan oleh beberapa pihak.

Penelitian [1] dengan judul *Analisa Perancangan On-Grid System Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Industri Menengah (Studi Kasus: PT.P&P Bangkinang)*. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan sistem PLTS, menghasilkan analisis teknis dan ekonomis serta menganalisis pengurangan emisi gas CO₂. Dimana hasil dari penelitian ini yaitu daya sebesar 310.5 MWh per tahunnya. Analisa ekonomi dengan metode Life Cycle Cost (LCC) menghasilkan total pengeluaran sebesar Rp 2,892,795,264 dengan biaya perawatan pertahunnya yakni Rp 28,927,952 dan emisi karbon yang dapat dihindari 230.7 ton CO₂. Hasil penelitian menunjukkan proyek pembangkit listrik ini layak untuk dibangun.

Penelitian [6], dengan judul *“Thermal Analysis of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System”*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perilaku termal sistem BIPV untuk memutuskan apakah ventilasi alami dari udara di belakang PV cukup untuk mendinginkan dan membuang kelebihan panas. Hasil dari penelitian ini menunjukkan celah udara sebesar 0.15m dapat memastikan pendinginan dari PV dalam sistem BIPV di segala kondisi radiasi matahari yaitu pada radiasi matahari tertinggi yaitu 800 W/m² dan radiasi matahari terendah yaitu 400 W/m² serta pada setiap kemiringan yaitu 30⁰, 45⁰ dan 90⁰. Sudut 30⁰ menunjukkan distribusi suhu tertinggi yaitu 60⁰C, sudut 45⁰ menunjukkan distribusi suhu 51⁰C dan distribusi suhu terendah pada sudut 90⁰ yaitu 45⁰C. Semakin besar celah udara semakin rendah suhu sistem sehingga semakin tinggi efisiensinya. Serta posisi vertikal (90⁰) memiliki sirkulasi udara yang lebih baik dari sudut 30⁰, 45⁰.

Penelitian [9] dengan judul *Analisa Teknis dan Ekonomi PLTS Rooftop PV System Grid-Connected Pada Gedung Rektorat UIN SUSKA RIAU*. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan sistem PLTS, menghasilkan analisis teknis dan ekonomis serta menganalisis pengurangan emisi gas CO₂. Dimana hasil dari penelitian ini yaitu kapasitas pembangkit sebesar 81.638 MWh per tahunnya. Analisa ekonomi dengan metode Life Cycle Cost (LCC) menghasilkan sebesar Rp 2,527,130,813 dan biaya operasi dan

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 19,888,487 dan biaya penggantian sebesar Rp 748,629,000. Hasil penelitian menunjukkan proyek pembangkit listrik ini tidak layak untuk dibangun karena nilai NPV, IRR dan *Simple Payback* kecil dari nol dikarenakan nilai investasi awal terlalu besar.

Pada penelitian [11] yang berjudul *Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System*, dimana pada penelitian ini membahas tentang perhitungan dari instalasi BIPV dengan model yang telah dibuat baik itu menganalisa *saving energy, analisis thermal*, dan lainnya menggunakan metode numerik dan didukung metode eksperimen. Dimana hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah kecepatan aliran rata-rata 0,4 m / s dan 1 m / s dari BIPV sesuai dengan penurunan tekanan masing-masing 0,3 Pa dan 2 Pa. Suhu udara intake diatur ke 0 °C dan kecepatan udara rata-rata 0,5 m/s. Rata-rata konvektif koefisien perpindahan panas dihitung menjadi 5,8 W / m²K untuk panel PV dan 8,6 W / m²K, untuk rata-rata isolasi dari keduanya adalah 7,1 W / m²K. Koefisien perpindahan panas divalidasi untuk rentang kecepatan dari 0,3 m / s ke 0,6 m / s dan suhu ambien dari -10 °C hingga 10 °C.

Penelitian [12], dengan judul *“Energy Saving Evaluation of The Ventilated BIPV Walls”*. Penelitian ini bertujuan mengusulkan gagasan BIPV dengan ventilasi serta menghitung potensi hemat energi dari BIPV berventilasi melalui pertimbangan teknik dan simulasi komputasi dinamika fluida (CFD). Hasil penelitian ini menunjukkan efek dari kecepatan angin luar ruangan serta lebar saluran pada tingkat pemindahan panas dan keuntungan panas dalam ruangan. Menunjukkan bahwa dengan kecepatan angin diluar ruangan 0.5 m/s, 1.0 m/s, 2.0 m/s. BIPV berventilasi 2.85 m² dapat menghemat masing-masing sebesar 3.8 - 4.1 kWh, 4.3 – 5.7 kWh, dan 8.5 – 10.7 kWh listrik perharinya. Serta dapat mengurangi 70 – 76 kg, 80 -107 kg, dan 160 – 201 kg emisi CO₂ perbulannya.

Penelitian [13] dengan judul *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop Grid-Connected pada Gedung Pemerintah (Studi Kasus: Gedung Kantor Gabungan Dinas Provinsi Riau)*. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan sistem PLTS, menghasilkan analisi teknis dan ekonomis serta menganalisis pengurangan emisi gas CO₂. Dimana hasil dari penelitian ini yaitu kapasitas sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *Rooftop grid-connected* pada kantor gabungan dinas provinsi riau dengan luas area sebesar 2840 m². Potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS *Rooftop grid-connected* pada penelitian ini menghasilkan daya sebesar 288.420 kWp atau 405.9 MWh per tahun. Analisis ekonomi dengan metode *Life Cycle Cost* (LCC) dengan tingkat suku

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

bunga 8%, menghasilkan total pengeluaran sebesar Rp. 6,941,389,894 selama umur proyek 20 tahun. Dengan rincian investasi awal Rp 5,931,170,000. Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 59,311,700 dan biaya penggantian (*Replacement*) sebesar Rp 923,780,000. Hasil penelitian menunjukkan proyek pembangkit listrik (PLTS) *rooftop grid-connected* pada Gedung Kantor Dinas Gabungan Provinsi Riau layak untuk dibangun.

Penelitian ini merupakan pengembangan / perluasan penelitian [9] dengan melakukan perancangan pembangkit listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)* berventilasi yang diintegrasikan di *façade* bangunan yaitu pada dinding bangunan gedung rektorat UIN SUSKA Riau. Penelitian ini ingin memanfaatkan luas dari Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dengan luas bangunan sebesar 7260 m². Ketinggian gedung tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan gedung lainnya di lingkungan UIN SUSKA Riau sehingga lebih banyak menerima sinar matahari, dengan luas setiap orientasi dindingnya yaitu: orientasi timur sebesar 127.9 m², orientasi barat sebesar 137.18 m², serta orientasi utara dan selatan sebesar 112.3 m² [10], dimana akan lebih maksimal untuk pemanfaatan radiasi sinar matahari dalam perancangan pembangunan pembangkit listrik BIPV sistem di dinding bangunan gedung Rektorat.

Pada penelitian ini penulis melakukan perancangan pembangkit listrik BIPV menggunakan buku panduan *GSES (Global Sustainable Energy Solutions)*. Perancangan pembangkit listrik BIPV ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi luas permukaan dinding yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan PV, kemudian dibuat perancangan sistem yang ideal dengan mengkonfigurasi spesifikasi peralatan dan komponen sistem yang tersedia. Dalam perancangan pembangkit listrik BIPV ini dilakukan analisis aspek teknis, aspek ekonomis dan aspek emisi.

Keunggulan pada penelitian ini yaitu peneliti akan menghitung *assesment resource* menggunakan penelitian [11] sebagai standar untuk menghitung temperatur pada sel PV serta efisiensi sel PV dari sistem BIPV berventilasi dengan menggunakan *software Comsol Multiphysics 5.3a* untuk mendapatkan hasil yang mendekati keadaan riil, hasil keluaran dari *software comsol* digunakan untuk menghitung aspek teknis yang meliputi daya listrik yang dihasilkan, *losses* sistem, rasio performa dan faktor kapasitas sistem BIPV. untuk analisis aspek ekenomis akan dilakukan dengan menghitung nilai *Life Cycle Cost (LCC)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)* dan nilai *Simple Payback (SP)* serta peneliti menganalisis mengenai aspek emisi yang membahas dampak pengurangan emisi karbon dioksida yang dilakukan setelah adanya perancangan ini dan penelitian ini

Ura juga menghasilkan *layout* hasil perancangan berupa gambar hasil perancangan BIPV, hasil perancangan *Mounting system* serta diagram kelistrikan dari sistem BIPV.

2.2 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Listrik tenaga surya diperoleh dengan melalui sistem *photo-voltaic*. *Photo-voltaic* terdiri dari *photo* dan *voltaic*. *Photo* berasal dari bahasa Yunani *phos* yang berarti cahaya. Sedangkan *voltaic* diambil dari nama Alessandro Volta (1745-1827), seorang polepor dalam pengkajian mengenai listrik. Sehingga *photo-voltaic* dapat berarti listrik-cahaya.

Belakangan ini, *photovoltaic* lebih sering disebut *solar cell* atau sel surya, karena cahaya yang dijadikan energi listrik adalah sinar matahari. Selsurya merupakan salah satu produk teknologi *photovoltaic* yang dikembangkan dari bahan semi konduktor (silikon multikristal, monokristal dan *amorf*) yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik dan konversi energi cahaya (*photon*) mejadi energi listrik secara langsung. Prinsip dasar sel surya merupakan kebalikan dari LED (*Light Emmiting Diode*) yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya atau boleh dikatakan identik dengan sebuah diode cahaya (*photodiode*) sambung p-n (*p-n junction*) dengan cahaya energi.

Sel surya merupakan suatu p-n *junction* dari silikon kristal tunggal. Dengan menggunakan *photo-electric effect* dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mngkonversi sinar matahari mejadi listrik searah (DC). Bila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan *hole*. Elektron-elektron dan *hole-hole* itu melintasi p-n *junction*, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus lisrik yang mengalir melalui beban. Sebuah sel surya tunggal dapat menghasilkan lisrik searah 3 volt dan 3 ampere.

2.3 Karakteristik *Photovoltaic*

Penyinaran cahaya matahari yang diterima sel surya sangat bervariasi setiap harinya. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukan pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada susan sel surya. Untuk mengukur arus maksimum, kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan *amparemeter* akan didapatkan sebuah arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau *Isc*. Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Total *output* dari sel surya sama dengan tegangan (V) operasi dikalikan arus (I) operasi. Tegangan serta arus keluaran yang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dihasilkan ketika sel surya memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam bentuk kurva I-V. kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*maximum power point*) maka akan dihasilkan daya keluaran maksimum (PMPP). Tegangan di *maximum power point* (MPP) VMPP, lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus saat MPP (Isc). Pada kurva I-V terdapat hal hal sangat penting yaitu [14]:

2.3.1 Arus Short Circuit (Isc)

Arus hubung singkat sel surya adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sel surya sama dengan nol atau arus keluaran maksimum modul surya yang dikeluarkan dibawah kondisi tidak ada resistansi.

2.3.2 Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)

Voc adalah tegangan maksimum dari sel surya dan terjadi pada saat arus sel sama dengan nol. Tegangan rangkaian terbuka sesuai dengan jumlah bias maju pada sel surya, karena bias *junction* sel surya sama dengan arus cahaya yang dihasilkan.

2.3.3 Faktor Pengisian (Fill Factor)

Faktor pengisian sel surya merupakan perbandingan antara daya keluaran maksimum terhadap perkalian antara Voc dan Isc atau dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$ff = \frac{P_{mp}}{P_{th}} = \frac{V_{mp}I_{mp}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (2.1)$$

Kualitas dari sel surya biasanya dinyatakan dengan nilai *fill factor* (ff) yang menunjukkan besarnya kemampuan sel surya menyerap cahaya yang diterimanya, atau sering juga dinyatakan dengan nilai efisiensi (dalam percobaan ini tidak diamati). Semakin besar nilai *fill factor* atau efisiensinya maka sel tersebut semakin baik.

2.3.4 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi adalah parameter yang paling umum digunakan untuk membandingkan unjuk kerja dari sel surya satu dengan yang lainnya. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio *output* energi dari sel surya untuk energi masukan dari matahari. Selain mencerminkan unjuk kerja sel surya sendiri, efisiensi tergantung pada spektrum, intensitas sinar matahari, dan suhu sel surya. Oleh karena itu, kondisi dimana efisiensi diukur harus dikontrol untuk membandingkan kinerja satu perangkat ke perangkat lainnya, sel surya *terrestrial* diukur dalam kondisi *Air Mass* (AM) 1.5 spektrum dan pada suhu 25°C.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.5 Maximum Power Point (MPP)

Maximum Power Point (MPP) pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya. Hasil perkalian arus dan tegangan maksimum menyatakan radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa panjang gelombang mulai dari 300nm sampai dengan 4 micron(m). sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*).

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*), konversi energi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel *Photovoltaic*. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari *silicon* (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik aru searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel fotovoltaiik dapat digabungkan menjadi modul dengan jumlah sekitar 40 sel, selanjutnya gabungan beberapa modul akanmembentuk suatu PV array.

PLTS pada dasarnya adalah catu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri, maupun *hybrid*. Dengan metode desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi.

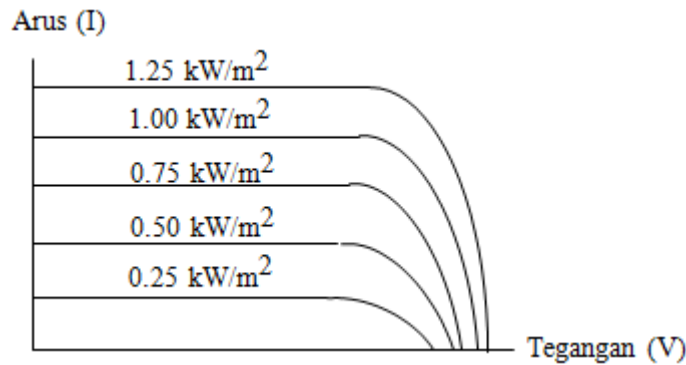
2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja PLTS

Sistem PLTS dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTS faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTS adalah radiasi dan temperatur [15].

2.5.1 Radiasi

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihsailkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jmlah radiasi yang sampai pada modl adalah terjadinya beyangan-bayangan yang dapat menghalangi

radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain.



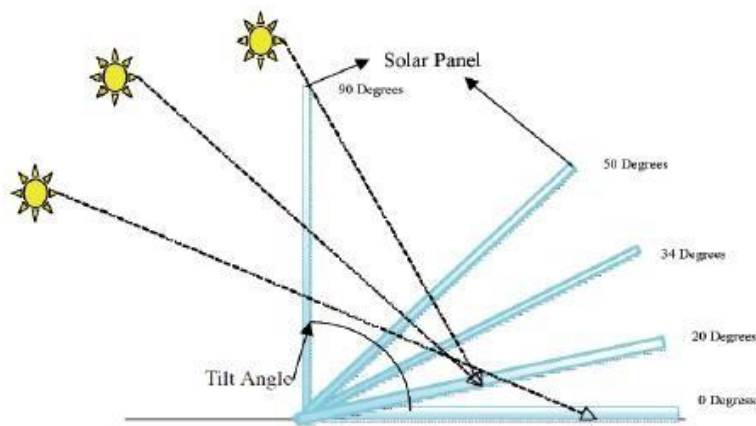
Gambar 2.1 Karakteristik Variasi Tegangan Terhadap Radiasi [15]

2.5.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari dipermukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi memberikan pengaturan dan pengamanan dalam suatu PLTS sedemikian rupa sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan handal. Peralatan pengaturan didalam sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara elalu menempatkan kearah matahari, atau dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil. Otomatis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik. Namun dalam segi kepraktisan dan memudahkan perawatan pemasangan modul surya yang mudah dan murah adalah dengan memasang modul surya dengan posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Untuk menentukan arah sudut kemiringan modul surya harus disesuaikan dengan letak geografis pemasangan modul surya tersebut. Penentuan sudut pemasangan modul surya ini berguna untuk membenarkan penghadapan modul surya kearah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya kearah garis khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. Modul surya yang terpasang dikhatulistiwa (lintang= 0^0) yang diletakkan mendatar (tilt angel= 0^0), akan menghasilkan energi maksimum [16].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

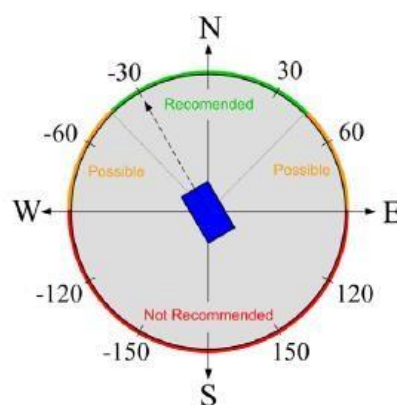
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.2 Sudut Kemiringan Modul Surya [16]

2.5.3 Orientasi Modul Surya

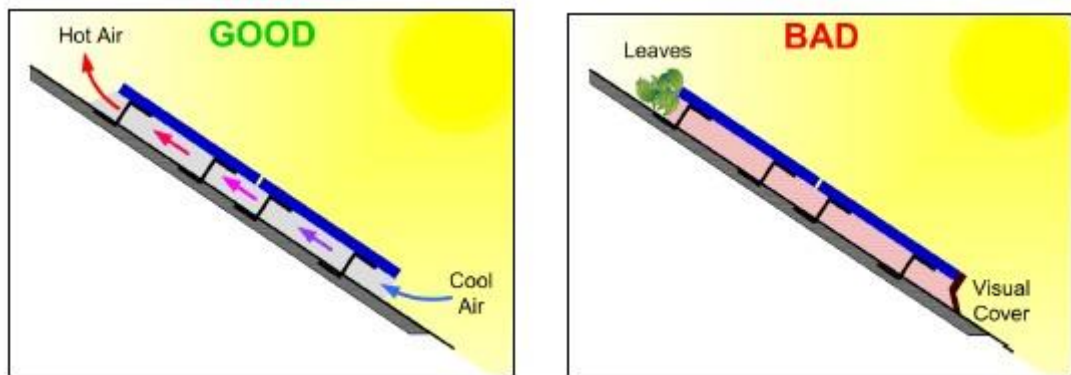
Penempatan modul surya untuk mendapatkan energi maksimum, sebaiknya modul surya ditempatkan menghadap arah selatan, meskipun arah timur atau barat juga memungkinkan tetapi jumlah listrik yang dihasilkan akan lebih rendah. Selain itu sudut peletakan modul surya tidak boleh kurang dari 10^0 atau melebihi 45^0 . Orientasi dari rangkaian modul surya (*array*) kearah matahari adalah penting, agar modul surya (*array*) dapat menghasilkan energi yang maksimum. Misalnya untuk lokasi yang terletak di belahan bumi utara maka modul surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu sebaliknya untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan maka modul surya diorientasikan ke utara [16].



Gambar 2.3 Orientasi Modul Surya [16]

Kinerja sel PV dipengaruhi oleh suhu tersebut bahwa semakin tinggi suhu sel, semakin rendah produksi energi sel bisa mencapai suhu tinggi, misalnya, ketika radiasi matahari berada pada titik terkuat dimusim panas sekitar tengah hari, sel dapat panas hingga sekitar 70°C . panas yang hilang melalui bagian belakan modul dengan konveksi alami, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. untuk alasan ini, penting untuk menghindari pemanasan sel dengan membatasi aliran udara dibawah modul.

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperature sel tetap normal pada 25°C . kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan *output* atau tegangan Voc. Setiap kenaikan temperatur sel surya 10°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10°C [17].



Gambar 2.4 Temperatur Pada Panel Surya [17]

2.5.5 Kecepatan Angin Bertiup

Kecepatan angin bertiup disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25 derajat Celcius.

2.5.6 Kadaan Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfir bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

2.6 PLTS Grid-Connected

Sistem PLTS *Grid-Connected* atau dapat disebut PLTS *on-grid* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). sistem PLTS *Grid-Connected*

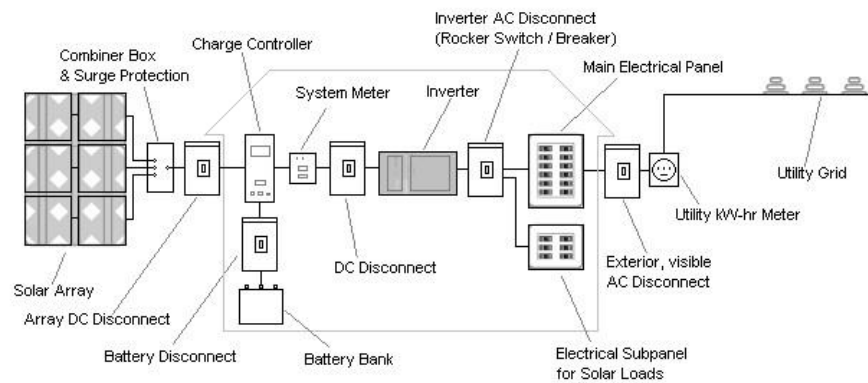
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

bertujuan untuk menyediakan listrik yang langsung terhubung dengan jaringan listrik grid PLN. Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu

2.6.1 Sistem Dengan Penyimpanan (*Grid-Connected PV With A Battery Back Up*)

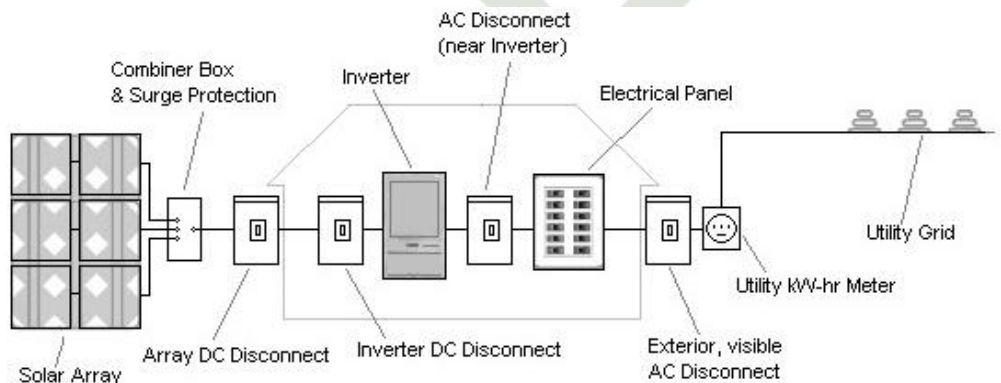
Sistem PLTS *Grid-connected* ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau *backup* energi. Sistem ini disebut sebagai *Grid-Connected PV Sstem with battery backup*. Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan [18].



Gambar 2.5 Sistem PLTS *Grid-Connected* Dengan Baterai [18]

2.6.2 Sistem Tanpa Baterai (*Grid-Connected PV Without A Battery Back Up*)

Sistem PLTS ini tidak menggunakan baterai sebagai *backup*nya. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *Grid-Connected distributed PV* dan *Grid-Connected centralized PV* [18].



Gambar 2.6 Sistem PLTS *Grid-Connected* Tanpa Baterai [18]

2.7 Komponen PLTS *Grid-Connected*

Pada penelitian ini sistem yang akan dirancang adalah sistem PLTS *grid-connected without battery backup*, umumnya terdiri dari komponen-komponen berikut ini:

2.7.1 Modul Surya

Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut *array*.

Sebagai sebuah komponen penghasil listrik, modul surya memiliki karakteristik tertentu berdasarkan parameter terukur sebagai berikut [19]:

- Peak Power* (Wp), menyatakan daya maksimum yang terjadi pada titik lutut (*knee point*) kurva I-V.
- Peak Voltage* (Vmp), menyatakan nilai tegangan pada titik lutut kurva I-V.
- Open Voltage* (Voc), menyatakan nilai tegangan pada saat terminal positif dan negatif tidak ada beban atau terbuka.
- Peak Current* (Imp), menyatakan besarnya arus yang mengalir pada *knee point* kurva I-V.
- Short Circuit Current* (Isc), menyatakan arus yang mengalir pada saat terminal positif dan negatif dihubungkan singkat.
- Standard Test Conditions* (STC), memberi keterangan bahwa modul surya diuji dengan kondisi test tertentu, seperti: iridiasi = 1000 W/m^2 , temperature = 25°C .

2.7.1.1 Jenis Modul Surya

Jenis modul surya secara garis besar terbagi kedalam dua jenis yaitu jenis *Crystalline Cell* dan *Thin Layer Film*, kemudian kedua jenis modul surya ini terbagi lagi menjadi beberapa tipe sel surya pada kedua jenis modul *Cystalline* dan *thin layer film* ini berdasarkan tipe sel.

1. *Crystalline Cells*

a. *Monocrystalline*

Monocrystalline merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. *Monocrystalline* dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

Monocrystalline dibuat dari silicon Kristal tunggal yang didapat dari peleburan silicon dalam bentuk bujur. Sekarang *Monocrystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi hingga 24% [20].



Gambar 2.7 *Monocrystalline* [20]

b. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang Kristal silicon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian Kristal silikon *polycrystalline* tidak seinggi *monocrystalline* ehingga efisiensinya sekitar 13-16%.

Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Akan tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingg mengurangi ruang kosong antar sel surya. Selain itu *polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga dalam performanya *polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *polycrystalline* tidak panas dan tetap bekerja secara maksimal.[20]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

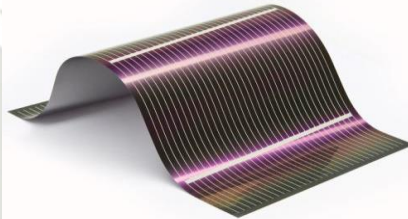
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.8 Polycrystalline [20]

2. Thin Film Photovoltaic

Thin Film Photovoltaic merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *monocrystalline* dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5%, sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Inovasi terbaru dari *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang setara [20]



Gambar 2.9 Thin Film Photovoltaic [20]

2.7.2 Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem control yang merubah arus listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang kemudian akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu inverter fasa untuk *Solar Home System* (SHS) yang bebannya kecil dan inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN [21].

2.7.2.1 Jenis Inverter

Terdapat banyak jenis inverter yang beredar dipasaran. Jenis-jenis ini mempunyai beberapa perbedaan mulai dari yang digunakan untuk single module hingga arrays dan yang digunakan untuk distribusi dalam kW atau MW. Ada tiga jenis inverter yang sering digunakan yaitu string, central dan micro inverter. Jenis ini dibedakan pada penggunaan jenis kabel yang digunakan:

a. *Micro Inverter*

Micro Inverter atau biasa juga disebut inverter modul dipasang dibagian belakang setiap modul surya. Inverter ini diproduksi dikisaran 100-300 W. Keuntungan inverter mikro adalah menggunakan kabe DC yang sedikit karena keluaran dari modular merupakan daya AC yang langsung diparalelkan pada setiap modul dan kemudian disambungkan ke jaringan. Keuntungan lainnya adalah, apabila penambahan daya maka dengan hanya menambahkan modul surya dan inverternya saja dan tidak perlu membongkar [15].



Gambar 2.10 *Micro Inverter* [15]

b. *Inverter String (String Inverter)*

String Inverter biasanya digunakan untuk pemasangan jaringan tersambng skala kecil (10 kW atau kurang). Biasanya kapasitas *String Inverter* ialah 1 kW sampai kira-kira 12 kW, ketika PLTS berkapasitas diatas 5 kW maka inverter multi string atau inverter terpusat dapat digunakan sebaai inverter alternatif. Setiap inverter *on-grid* memiliki fungsi sebagai MPPT dan tegangan DC inputnya bias mencapai 1000 V DC [15].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.11 String Inverter [15]

c. Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Inverter terpusat ini biasanya digunakan untuk daya PLTS yang besar, sebagai contoh inverter ini digunakan pada daya dari 30 kWp (fronius) dan dari 100 kWp (SMA). Inverter terpusat ini sama halnya dengan inverter *string* dan *multi-string* namun yang membedakan dengan inverter terpusat adalah *array* pada PLTS dapat dibagi menjadi beberapa *sub-array* [15].



Gambar 2.12 *Central Inverter* [15]

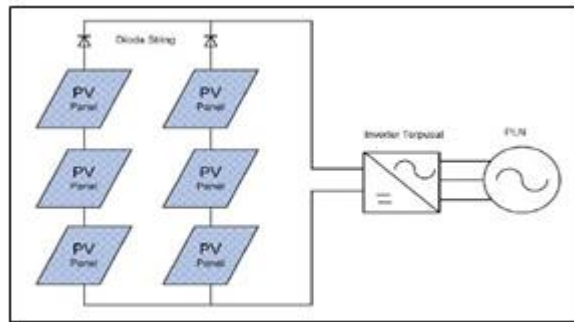
2.7.2.2 Konfigurasi Inverter

a. Konfigurasi Inverter Terpusat

Konfigurasi Inverter Terpusat yang relatif sederhana dari pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Topologi penyambungan pembangkit tipe ini paling murah, karena hanya memiliki satu inverter DC ke AC terpusat untuk *string* modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus DC tertentu. Kelemahan lain adalah permasalahan keandalan sistem, dengan adanya gangguan atau kerusakan pada inverter maka akan menyebabkan seluruh pembangkit berhenti beroperasi [22].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

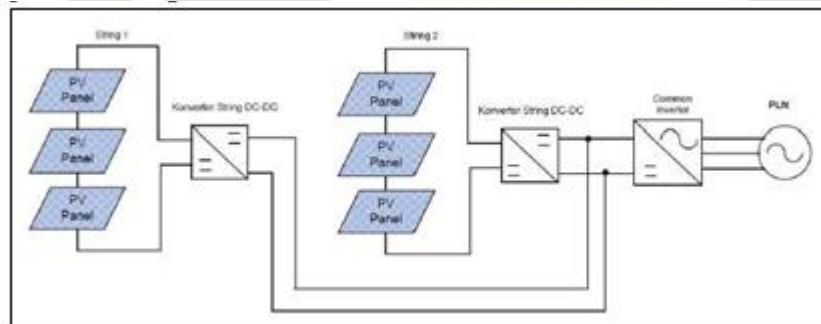
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.13 Konfigurasi *Photovoltaic* Inverter Terpusat [22]

b. Konfigurasi *Multi String Inverter*

Multi String Inverter menggunakan beberapa *string* dengan sistem pelacak MPP yang terpisah (menggunakan DC/DC konverter) terhubung ke inverter DC/AC umum untuk menghasilkan AC yang disalurkan ke sistem Distribusi. Konfigurasi ini memungkinkan untuk mengoptimalkan efisiensi pengoperasian setiap *string* secara terpisah, dan integrasi berbagai orientasi surya untuk memaksimalkan produksi energi [22].



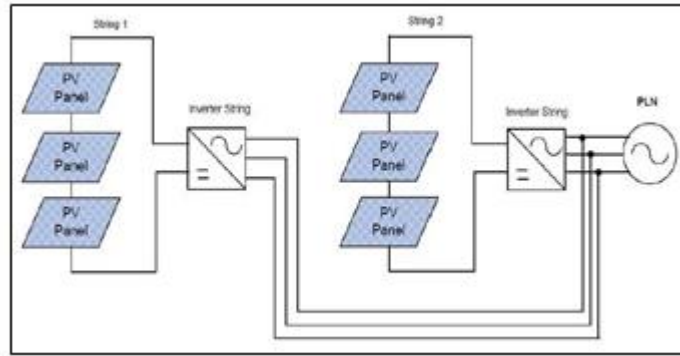
Gambar 2.14 Konfigurasi *Multi-String Inverter* [22]

c. Konfigurasi *Inverter Multi-String*

Inverter *String Array* mengilustrasikan yang mana rangkaian seri tunggal modul fotovoltaik dihubungkan secara seri dan string terhubung ke inverter tunggal dan ada satu inverter untuk setiap string. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah bahwa *string* inverter memiliki kemampuan pelacakan titik daya maksimum *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) secara terpisah dari setiap string fotovoltaik untuk mengurangi kerugian dari ketidakcocokan dan bayangan parsial sehingga dapat meningkatkan produksi energi. Kelemahan konfigurasi ini adalah diperlukan jumlah inverter yang lebih banyak [22].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

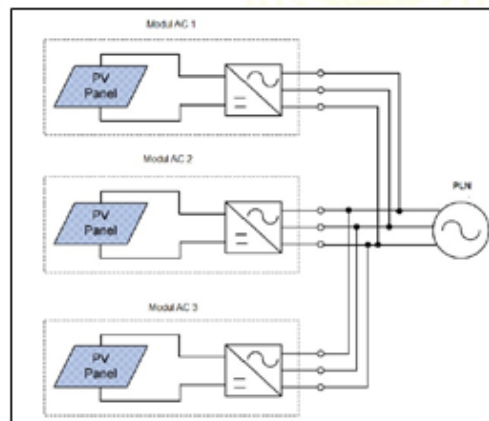
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.15 Konfigurasi Inverter *Multi-String* [22]

d. Konfigurasi Inverter Modul

Konfigurasi Inverter Modul dimana setiap modul fotovoltaik memiliki inverter DC/AC dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Keuntungan dari konfigurasi ini adalah desain yang sangat fleksibel sehingga mudah untuk menambahkan inverter guna meningkatkan kapasitas pembangkit listrik. Selain itu konfigurasi ini meningkatkan produksi energi dengan cara mengurangi kerugian energi dari ketidaksesuaian inverter dan meningkatkan keandalan. Kelemahan dalam konfigurasi ini adalah diperlukan biaya tambahan untuk inverter dan pemeliharaan yang relatif lebih kompleks [22].



Gambar 2.16 Konfigurasi Inverter Modul AC [22]

2.8 *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV)

BIPV adalah suatu teknologi baru yang memungkinkan untuk *Photovoltaic* (PV) terpasang pada bagian bangunan atau menjadi bagian konstruksi dari bangunan seperti, atap dan dinding. Sistem BIPV akan sangat membantu dalam penyediaan energi listrik untuk bangunan itu sendiri. Dengan adanya BIPV maka akan mengurangi pemakaian energi listrik dari Lembaga Perusahaan Listrik Negara (PLN) karena BIPV telah memproduksi energi listrik untuk bangunan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.17 Penerapan BIPV pada dinding bangunan [5]

Ada beberapa jenis integrasi tetapi kita pada umumnya dapat megklasifikasikan mereka dalam dua kategori yaitu integrasi atap dan integrasi *façade*. Integrasi dalam *façade* bangunan harus diprioritaskan terutama karena daerah yang terkena radiasi matahari yang biasanya lebih besar dari atap. Dan pemasangan vertikal kolektor di pertengahan garis lintang membantu mencegah resiko *overheating* di musim panas dengan demikian kinerja dari sistem dapat lebih baik [23].

Sel-sel BIPV diklasifikasikan berdasarkan modul surya silikon dan non-silikon. Modul berbasis silikon yang paling umum digunakan dipasaran yaitu terdiri dari *Monocrystalline*, *Polycrystalline* dan *amorf (Thin Film)*. Modul surya non-silikon berbasis baik *Cadnium Telluride (CdTe)* atau *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)* yang dikasifikasikan dalam kategori *thin film*. Teknologi BIPV secara luas diterapkan dalam pembangunan gedung baru dan BIPV merupakan salah satu sumber utama listrik. Misalnya BIPV mampu menurunkan beban pendinginan dan konsumsi listrik banguan sebesar 33-50%. Selain ramah lingkungan serta terbarukan, salah satu keuntungan dari teknik BIPV adalah pengurangan biaya utama dari bahan konstruksi yang kuantitas secara signifikan berkurang karena integrasi material PV didalamnya [23]. Adapun jenis-jenisnya sebagai berikut:

1. BIPV *Façade*

Merupakan jenis BIPV yang diterapkan pada dinding bangunan. *Façade* bangunan secara konvensional terbuat dari dinding, kaca, kelongsong, dan fenetrasi dan strktur lain seperti perangkat peneduh, tembok pembatas dan balkon. Masing-masing komponen bangunan ini menyediakan peluang untuk mengintegrasikan PV ke gedung dan dengan ekstensi. Untuk kustomisasi fasad, aplikasi BIPV *façade*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

utama yang diekstraksi dari literature termasuk dinding tirai, kaca, perangkat eksternal/peneduh, dan aplikasi inovatif [24].



Gambar 2.18 BIPV Façade[24]

2. BIPV Windows

Jenis BIPV ini diterapkan pada jendela sebuah bangunan. Jenis BIPV ini mampu untuk menghasilkan listrik serta memberikan pengurangan dari ultraviolet dan radiasi infra merah. Jendela yang tersedia dengan banyak pilihan yang dapat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan desain, cuaca, iklim dan kode bangunan dan umumnya terbuat dari laminasi kaca PV yang dapat diterapkan untuk jendela sehingga memungkinkan untuk melihat melalui PV atau karena sel-sel surya Kristal pada laminasi spasi sehingga parsial literasi cahaya melalui modul PV dan menerangi ruangan. Efek cahaya dari panel ini menyebabkan pola yang selalu berubah dari warna di bangunan itu sendiri [24].



Gambar 2.19 BIPV Windows[24]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. BIPV Roof

BIPV jenis ini diterapkan atau diintegrasikan pada atap bangunan. Biasanya dijadikan sbagai atap ataupun dijadikan gabungan dari atap yang ada. BIPV jenis ini kurang sesuai jika digunakan pada bangunan gedung komersial pada umumnya. Ini dikarenakan bangunan gedung bersifat tinggi, dalam arti sisi dinding lebih luas dibandingkan sisi atap bangunan. Namun jenis BIPV ini akan sesuai jika diterapkan pada bangunan dimana luas atap lebih besar seperti stadion dan bangunan lainnya [24].



Gambar 2.20 BIPV Roof [24]

2.8.1 Persamaan Matematik BIPV

Dalam perhitungan pada sistem BIPV berdasarkan asumsi pemodelan pada penelitian [12] yang berjudul *Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System*, persamaan yang mengatur untuk konservasi massa, kekekalan momentum, konservasi energi, persamaan transportasi energi kinetik turbulen dan persamaan disipasi energi turbulen diperoleh sebagai berikut [12].

Kontinuitas konservasi energi

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (2.2)$$

Persamaan konservasi momentum – X

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u v) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial y}\right) \quad (2.3)$$

Persamaan konservasi momentum – Y

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u v) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v v) = -\frac{\partial P}{\partial y} - \rho g \beta (T - T_{ref}) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (2.4)$$

Persamaan konservasi energi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v T) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (2.5)$$

Persamaan perubahan energi kinetik turbulen

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_m + S_k \quad (2.6)$$

Persamaan disipasi energi turbulen

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (2.7)$$

Dimana

$$C_1 = \max \left[0.43 \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon} \quad (2.8)$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_2 = 1.9, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.2$$

Keterangan :

K = konduktivitas termal udara ($W / m^\circ C$)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

u = kecepatan udara di arah x (m/s)

v = kecepatan udara di arah y (m/s)

g = gravitasi ($10 m/s^2$)

ε = emisifitas

k = energi kinetik turbulen PV

x = arah horizontal aliran rongga udara

y = arah vertikal aliran rongga udara

C = *Specific Heat* ($J / kg^\circ C$)

2.9 Keseimbangan Sistem

Dalam sistem PLTS, terdapat komponen utama yaitu modul surya dan inverter. Selain dari pada itu, juga terdapat komponen penunjang. Komponen penunjang ini bertujuan untuk memberikan kinerja maksimal pada PLTS keseimbangan peralatan dan komponen pendukung lainnya haruslah terpasang dengan baik. Jika tidak, kinerja dan keandalan sistem akan bermasalah. Kunci keseimbangan sistem pada komponen sebagai berikut.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9.1 Kabel

Dalam sistem grid connected membutuhkan kabel terhubung, yaitu:

2.9.1.1 Kabel DC

Kabel DC adalah kabel yang berada pada sistem DC pada PLTS. Kabel DC terdiri dari kabel string, kabel array dan kabel inverter DC.

2.9.1.2 Kabel AC

Kabel AC yang menyuplai inverter ke kWh meter menuju isolator AC inverter. Tegangan yang keluar dari inverter adalah 220V-240V satu fasa. Sedangkan sistem yang besar inverter yang digunakan adalah 380V AC tiga fasa.

2.9.1.3 Kabel Penumbumian

Kabel yang digunakan untuk penumbumian adalah sama halnya dengan kabel yang digunakan untuk penumbumian instalasi bangunan.

2.9.1.4 Kotak Persimpangan Array

Array terdiri dari sejumlah *string* paralel, maka kabel pada *array* akan saling berhubungan di sebuah kotak persimpangan (*junction box*). Terkadang disebut dengan *DC combiner box*. Sebuah kotak persimpangan umumnya juga terdapat di rumah untuk instalasi skring pada PLTS.

2.9.2 Perangkat Pemutus

a. Isolator DC Pada PLTS

Isolator DC pada PLTS adalah sebuah alat yang sama jenisnya dengan *DC circuit breaker*. Alat ini digunakan sebagai saklar penghubung dan memutus. Namun, harus dipasang pada arus DC. Alat ini biasanya dipasang diantara PLTS dan inverter. Alat ini terbagi dua yaitu isolator yang memiliki polaritas dan isolator yang tidak memiliki polaritas.

b. Isolator AC pada PLTS

Peletakan isolasi saklar manual harus dipasang diantara inverter dan jaringan listrik. Ini di anjurkan untuk menempatkan bahwa sisi inverter yang terdapat perangkat metering PLTS.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

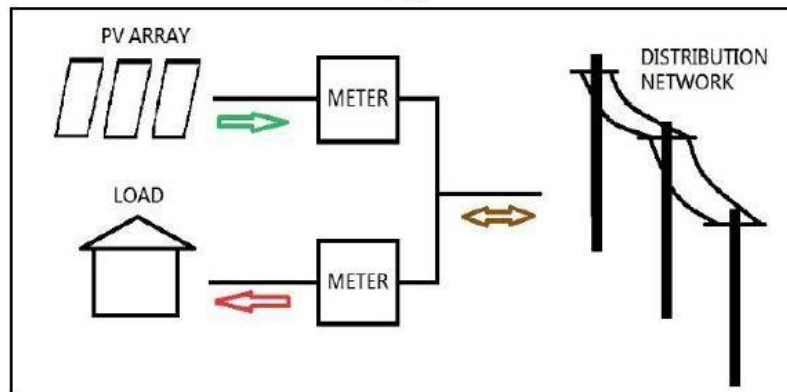
2.9.3 Meteran

Meter listrik mencatat energi listrik dalam kWh yang dikonsumsi oleh beban di dalam suatu gedung. Meteran ini mencatat jumlah energi yang dikonsumsi dalam satuan kWh. Listrik yang digunakan oleh konsumen kemudian ditagih dan untuk penagihan listrik ini berdasarkan tarif yang ditetapkan.

Ada banyak jenis meter yang tersedia. Meteran sederhana adalah perangkat mekanis dengan disk yang berputar dikalibrasi yang berputar Ketika listrik sedang dikonsumsi. Jenis meteran digunakan ketika tarif listrik bervariasi pada waktu hari yang berbeda. Ada beberapa jenis meteran yang akan dipasang dengan sistem PLTS *grid-connected* tergantung pada persetujuan pembelian dengan distributor listrik yaitu :

a. Meteran Bruto

Meteran *bruto* adalah pengaturan meteran di mana pengukuran jumlah tenaga listrik yang diekspor dan yang diimpor dilakukan secara terpisah. Seluruh tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara efektif diekspor ke jaringan dan dapat diperlakukan secara terpisah dari tenaga listrik yang dikonsumsi oleh pengguna [3].



Gambar 2.21 Konfigurasi Meteran Bruto [3]

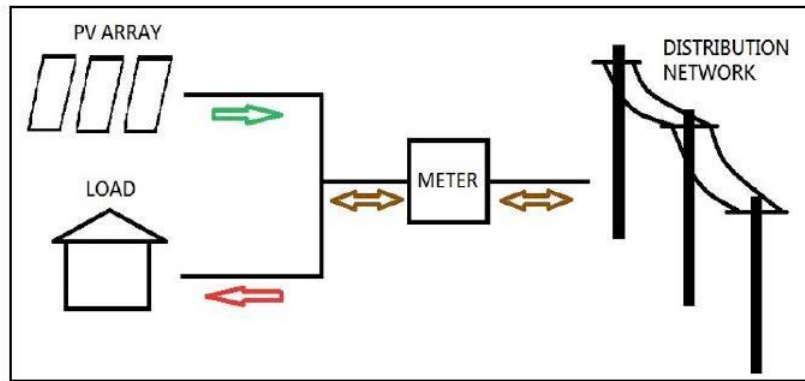
b. Meteran Neto

Meteran *neto* adalah pengaturan meteran di mana tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS pertama-tama dikonsumsi dulu di tempat dan yang diekspor ke jaringan hanya kelebihan daya dari PLTS setelah dikonsumsi di tempat ini. Nilai meteran “Neto” adalah jumlah tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS dikurangi total konsumsi listrik. Apabila daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS melebihi konsumsinya, ada ekspor

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

bersih/neto ke jaringan dan apabila konsumsi melebihi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS ada impor bersih tenaga listrik [3].



Gambar 2.22 Konfigurasi Meteran Neto [3]

2.10 Rugi-rugi Pada PLTS

Semua energi matahari yang terdapat pada PLTS tidak sepenuhnya dikirim ke jaringan (*grid*). Hal ini disebabkan oleh faktor pengurangan (*losses*) yang mempengaruhi konversi listrik yang dihasilkan oleh PLTS ke jaringan PLN (*grid*). Setiap faktor-faktor tersebut dapat mengurangi efisiensi dari keseluruhan sistem PLTS. Faktor tersebut yaitu [15]:

2.10.1 Temperatur Modul Surya

Pada saat terjadi temperatur yang tinggi, sel-sel surya kurang efisien. Energi keluaran dari modul dipengaruhi oleh temperatur pada sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan menurun sehingga daya pada sel juga akan menurun. Besarnya efek turunnya tegangan tersebut tergantung pada tipe dari sel surya, rata-rata koefisien suhu pada modul *cristaline* dapat mencapai $0.5 \% V/^{\circ} C$ sedangkan rata-rata pengurangan modul *thin film* mencapai $0.1-0.4 \% V/^{\circ} C$ [15].

2.10.2 Kotoran (Soilage)

Kotoran dapat menumpuk di atas permukaan modul surya, tidak semua cahaya matahari sampai ke sel pada modul dan berakibat pada energi keluaran yang menurun. Seberapa banyak kotoran mempengaruhi energi keluaran akan bergantung pada sumber dan faktor-faktor yang mempengaruhi efek kotoran.

Kotoran (*soilage*) adalah bentuk lain dari *shading* terjadi ketika sebuah kotoran terendapkan pada modul. Kotoran tidak membuat sistem berhenti berfungsi sepenuhnya.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sistem masih bekerja namun dengan output keluaran PLTS sedikit berkurang. Biasanya curah hujan akan mencuci modul untuk mencegah akumulasi kotoran yang berada pada modul; namun di daerah-daerah yang sangat berdebu dan kering mungkin perlu untuk membersihkan modul menggunakan selang air.

Kotoran modul surya dapat mengurangi efisiensi keluaran PLTS. Kotoran yang terdapat pada modul tidak dapat diukur secara pasti namun, hal ini dapat diasumsikan jika lokasi sangat kotor atau berdebu dengan sedikit hujan, kerugian efisiensi 10%, yang berarti efisiensi yang dihasilkan dari 90% atau mungkin kurang dan jika ada hujan biasa maka faktor 0,95 atau di atas diharapkan [15].

2.10.3 Toleransi Pabrikasi (*Manufacture Tolerance*)

Modul diproduksi dengan rating daya yang ditentukan dan spesifikasi pabrikasi. Sebuah modul memiliki toleransi pabrikasi yang biasanya terdapat pada *data sheet* produk toleransi pabrikasi pada modul menunjukkan potensi 'negatif' kehilangan daya. Misalnya spesifikasi pabrikasi $160\text{ W} \pm 4\%$ *output* solar modul / *array* harus didasarkan pada jumlah minimum daya dikutip untuk PV, yaitu contoh di atas: $160\text{ Watt} - 4\%$. dikutip 4% loss contoh yang sama efisiensi 96%. maka sebuah modul hanya bisa memproduksi 96% dari kinerja maksimal modul tersebut. Simbol fmm digunakan pada faktor toleransi pabrikasi dan mewakili presentasi kehilangan [15].

2.10.4 Bayangan (*Shading*)

Bayangan pada *array* yang terjadi disiang hari akan mempengaruhi daya keluaran. Analisis rinci pada setiap terjadinya bayangan pada *array* diharapkan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya bayangan pada *array*. Efek bayangan dapat mengurangi radiasi matahari dan berakibat pada penurunan energi yang dihasilkan oleh sistem. Namun, ketika bayangan hanya terjadi di sebagian *array*, maka akan ada pengurangan tegangan maksimum. Sehingga, pengurangan pada energi maksimum akan terjadi pada *array*. Efek bayangan dapat menimbulkan permasalahan apabila :

1. Jika terjadi bayangan pada *array*, tegangan maksimum yang akan masuk ke inverter mungkin akan menurun dan juga akan sangat mengurangi *output* inverter.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Jika menggunakan *string* inverter dan terdapat beberapa *string* modul surya, *shading* pada satu *string* dapat mempengaruhi *output string* lainnya. Inverter dapat melacak tegangan yang rendah untuk mendapatkan arus yang lebih tinggi.

Dalam kedua situasi diatas, sulit untuk memprediksi *output* keluaran pada *array*, dan sebagian inverter memiliki respon yang berbeda. Cara lain untuk menghindari masalah tersebut adalah menemukan dan memasang *array* pada daerah yang sedikit bahkan tidak ada bayangan pada siang hari [15].

2.10.5 Efisiensi Inverter

Setiap inverter mempunyai efisiensi yang ditunjukkan pada spesifikasi dan *data sheet* produk. Efisiensi inverter tergantung pada input sebenarnya dari *array*. Untuk menghindari kurang efisiensinya maka kita harus memperhatikan input yang masuk dari *array*, karena jika input berlebih maka efisiensi berkurang. Selain itu, karena efisiensi inverter secara langsung berkaitan pada suhu operasi maka, saat pemasangan inverter penting dilakukan untuk tidak memasang inverter dibawah matahari langsung. Selain itu, pada saat pemasangan inverter haruslah memiliki ventilasi yang tepat agar inverter dapat beroperasi dengan efisiensi maksimum [15]

2.10.6 Pengurangan Sistem

Output daya dari PLTS akan berkurang perlahan dari waktu ke waktu, biasanya sebesar 0,5% per tahun. Ini berarti bahwa sistem akan kehilangan efisiensi 12% setelah 25 tahun beroperasi. Garansi pada *output* daya dari modul menjamin degradasi kurang dari 0,9% per tahun, sehingga menghasilkan efisiensi minimal 80% setelah 25 tahun [17].

Tabel 2.1 Pengurangan Sistem dari Waktu ke Waktu

Degradation	Year of Operation					
	0	5	10	15	20	25
0.5% pa	100%	98%	95%	93%	90%	88%
0.9% pa	100%	96%	91%	87%	83%	80%

Sumber : [17]

2.11 Perancangan Sistem PLTS Grid-Connected

Dalam perancangan ada beberapa kriteria penentuan desain pada penelitian PLTS.

Sistem PLTS ada beberapa tahap yang digunakan:

2.11.1 Penilaian Lokasi PLTS

Karakterisasi situs dan penilaian sebuah situs secara rinci memberikan informasi yang diperlukan untuk desain sistem PLTS. Bagian pertama dari penilaian situs adalah untuk mengkarakterisasi kondisi fisik lokasi PLTS: Menentukan lintang, bujur, ketinggian, orientasi dinding bangunan menunjukkan dinding yang digunakan untuk instalasi PLTS, menghitung total luas, kemiringan serta metode pemasangan.

2.11.2 Penilaian Radiasi Matahari

Ada dua sumber utama data untuk radiasi matahari di permukaan bumi yaitu pengukuran secara langsung dan perhitungan berdasarkan data satelit. Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada lokasi tertentu, biasanya dalam satuan kWh/m²/hari. Data insolasi matahari lebih digunakan untuk merancang sistem PLTS. Perhitungan radiasi matahari berdasarkan perhitungan secara global atau langsung yang diambil selama siang hari. Perhitungan biasanya menggunakan *pyranometer* atau *pyrheliometer*. Dibeberapa lokasi, data ini dikumpulkan lebih dari 20 tahun.

Dalam perhitungan berdasarkan data satelit yang terdapat pada *meteorological database*, termasuk *database online* yang memiliki informasi tentang radiasi matahari ini adalah *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)*. milik *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, Amerika Serikat.

2.11.3 Analisis Shading

Sangat penting untuk memahami bayangan (*shading*) pada atap, terutama di daerah perkotaan di mana bangunan sekitarnya dan struktur dapat menghasilkan bayangan di atas atap. Bahkan sebagian kecil dari bayangan (*shading*) pada PLTS dapat secara signifikan mengurangi *output* energi yang dihasilkan. Idealnya, semua bagian atap harus tidak terdapat bayangan selama minimal 6 jam sehari antara itu 09:00-03:00. Analisis *shading* harus dilakukan untuk semua jam sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini membantu dalam pemilihan lokasi terbaik untuk memasang modul surya dan memberikan estimasi yang lebih akurat dari *output* tahunan dari sistem PLTS.

Pemilihan Modul Surya

Ada tiga jenis utama dari modul surya PV yang tersedia di pasar komersial yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline* dan *Thin film*. Pemilihan modul surya sangat penting dalam menentukan *design* sistem, pemilihan modul surya ditentukan berdasarkan efisiensi modul, area modul dan biaya.

Sistem panel surya dipilih berdasarkan spesifikasi modul surya yang diinginkan. Modul tersebut kemudian dipilih sesuai dengan:

1. Bahan sel modul: mono-kristal, *polyCrystalline*, *amorphous*, CdTe atau CIS, atau teknologi *Thinfilm*; dan
2. Jenis Modul: Modul standar dengan / tanpa bingkai, modul kaca-kaca, genteng PV, dan lain-lain.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, dalam pengoperasian panel surya salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi dari modul surya. Pengurangan efisiensi panel modul surya karena kenaikan suhu signifikan dan memiliki pengaruh besar pada pengurangan produksi pembangkit listrik tenaga surya. Untuk modul surya silikon, pengurangan efisiensi daya yang khas dengan suhu adalah 0.4–0.5% / C. Diperlukan untuk memperkirakan suhu panel modul surya untuk penilaian efisiensi karena kenaikan suhu panel modul surya. Metode NOCT digunakan dalam penelitian ini. Pabrikan menentukan suhu untuk kondisi eksploitasi nominal untuk setiap panel PV (NOCT *Nominal Operation Cell Temperature*). Dengan menggunakan parameter ini, suhu panel modul surya (T_{panel}) dapat diperkirakan berdasarkan suhu udara ambient Tamb dan iradiasi matahari jatuh ke panel. Mengingat bahwa nilai khas dari pengurangan efisiensi daya sel modul surya, karena kenaikan suhu sel surya diatas nilai standar (25 C), adalah 0,5% / C, efisiensi sel modul surya dihitung sesuai dengan persamaan berikut [15]:

$$\eta_{PV} = \eta_{ref}(1 - \beta_{ref}(T_{PV} - T_{ref})) \quad (2.9)$$

keterangan:

η_{PV} : efisiensi panel

η_{ref} : efisiensi panel STC

β_{ref} : koefisien termal panel

T_{PV} : temperatur panel saat beroperasi

T_{ref} : temperatur Lingkungan

Untuk mengetahui berapa nilai energi yang dihasilkan, harus lebih dahulu mengetahui energi yang diterima (energi *input*), energi yang dihasilkan oleh pembangkit

2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

listrik BIPV pada satu panelnya dapat diperkirakan dengan bantuan persamaan berikut [15]:

$$Energy\ Yield = I \times P_{max} \times Losses \quad (2.10)$$

Dengan:

Energy Yield = Keluaran energi dari PV array (Wh)
 I = Intensitas radiasi matahari (1PSH=1kWh/m²)
 P_{max} = Output daya dari nilai modul STC (w_p)
 η_{setelah losses} = Total kerugian diterjemahkan kedalam efisiensi (%)

2.11. Sistem Pemasangan (*Mounting System*)

Dua jenis utama dari sistem pemasangan PLTS yang digunakan yaitu sistem pemasangan diatap dan ditanah. Pada penelitian ini pemasangan yang digunakan hampir sama dengan sistem pemasangan yang digunakan diatap gedung (*rooftop*) hanya saja pada perancangan ini di integrasikan pada dinding bangunan.

2.11.6 Pemilihan Inverter

Pemilihan inverter berkaitan dengan kapasitas modul yang terpasang. inverter mengubah listrik DC dari PV array surya untuk listrik AC dengan memaksimalkan *output* PLTS. Ada tiga jenis inverter surya umum digunakan: inverter *string*, inverter *central* dan inverter *mikro*.

2.11.8 Array Sizing

Ketika merancang sebuah sistem PLTS *grid-connected* jenis modul PV yang dipilih dan jenis inverter yang dipilih harus diperhitungkan. Untuk menghasilkan daya *output* yang optimal pada PV array harus disesuaikan dengan inverter. Langkah-langkah berikut ini digunakan untuk menentukan ukuran array [15].

1. Menyesuaikan array dengan spesifikasi tegangan inverter,
2. Menyesuaikan array dengan *current rating* inverter.
3. Menyesuaikan array dengan *power rating* inverter.

2.11.8.1 Menyesuaikan Array Dengan Tegangan Inverter

1. Minimum Tegangan Inverter

Modul surya memiliki tegangan terendah di cuaca hangat. array harus dirancang sehingga tegangan VMP array pada suhu operasi tertinggi tidak

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

jatuh di bawah tegangan MPPT minimum pada inverter [15] Langkah pertama adalah untuk menemukan tegangan modul pada suhu modul maksimum dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{MP} = V_{MP-SC} - [\gamma_V \times (T - T_{SC})] \quad (2.11)$$

Keterangan :

- V_{MP-SC} = Tegangan MPP pada kondisi pengujian standar (SC),
- γ_V = Koefisien suhu VMP,
- T = Temperatur modul pada suhu udara ambien maksimum
- T_{SC} = Temperatur di SC

2. Maksimum Tegangan Inverter

Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan VOC modul berada pada titik tertinggi. Tegangan VOC digunakan sebagai pengganti tegangan VMP karena tegangan VOC lebih tinggi dan sebagai tegangan maksimum yang disediakan untuk inverter ketika array terhubung. Tegangan VOC modul adalah nilai pertama yang dihitung dengan persamaan berikut [15]:

$$V_{OC\ CELL\ EFF} = V_{OC-SC} - [\gamma_{VOC} \times (T - T_{SC})]. \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $V_{OC\ SC}$ = Tegangan rangkaian terbuka di SC
- T_{VOC} = Koefisien suhu untuk VOC
- T_{SC} = Temperatur Modul SC
- T = Temperatur modul diharapkan terendah yang ditentukan (°C)

Perhitungan untuk VOC tidak diukur untuk modul PV selama musim dingin atau musim panas, nilai SC karena itu digunakan bersama dengan faktor keamanan 2% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi.

$$V_{inverter} = V_{max\ input} \times 0.98 \quad (2.13)$$

Jumlah maksimum modul dihitung persamaan (2.14) dengan membagi tegangan inverter dengan Voc modul.:

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{V_{inverter}}{V_{OC\ MOD}} \quad (2.14)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.11.7.2 Menyesuaikan Array dengan Current Rating Inverter

Hal ini penting untuk memastikan bahwa arus maksimum yang dihasilkan oleh array lebih rendah dari arus maksimum input inverter. Jumlah string paralel array dari dihitung dengan menggunakan arus hubungan singkat (ISC) [15].

$$I_{sc \text{ mod}} = I_{sc \text{ stc}} - [\gamma_{voc} \times (T - T_{stc})] \quad (2.15)$$

Keterangan :

- $I_{sc \text{ stc}}$ = Arus rangkaian terbuka di STC
- γ_{VOC} = Koefisien temperatur untuk VOC
- T = Temperatur modul diharapkan terendah di suhu yang ditentukan.
- T_{STC} = Temperatur modul STC

Untuk menghitung jumlah maksimum string yang dapat beroperasi pada inverter dapat dihitung dengan persamaan [15]:

$$\text{Jumlah String MPPT 1} = \frac{I_{max \text{ DC input}}}{I_{sc \text{ Mod}}} \quad (2.16)$$

Keterangan :

- $I_{max \text{ DC input}}$ = Arus maksimum inverter
- $I_{sc \text{ Mod}}$ = Arus modul pada suhu TSC

2.11.7.3 Menyesuaikan Array dengan Power Rating Inverter

Ketika mencocokkan array ke inverter, perhitungan untuk arus, tegangan dan daya perlu dilakukan untuk memastikan ukuran yang benar dari sistem PV. Perhitungan arus dan tegangan dilakukan untuk menghitung jumlah string dan jumlah modul dalam sebuah string. Perhitungan daya dilakukan untuk menemukan jumlah maksimum modul diperbolehkan dalam sistem [15]. Dengan inverter dan modul yang dipilih, jumlah maksimum modul dalam array adalah:

$$\text{Ukuran Array} = \frac{\text{Maksimum daya Inverter}}{\text{Daya Modul}} \quad (2.17)$$

2.11.8 Sistem Proteksi Sub-Array Dan Array

Menurut draft IEC 65248: *Design And Requirements for Photovoltaic (PV) Arrays*, fuse (DC isolator) pada PLTS dihitung pada rating :

$$1.5 \times ISC \quad (2.18)$$

Perangkat proteksi Sub- Array ditentukan pada nilai :

$$1.25 \times I_{sc \text{ SUB ARRAY}} \quad (2.19)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Misalkan I_{sc} dari modul adalah 5.73 A maka *fuse string* yang harus diperoleh antara 8.59 A dan 13.75 A maka pada kondisi ini dipilih sekering (*fuse*) 10 A. Untuk *sub-array* dengan 10 *string* terhubung paralel sirkuit pemutus (*circuit breaker*) *sub-array* diperoleh antara 71.62 A dan 137.52 A oleh karena itu dapat dipilih *circuit breaker* 72 A.

Untuk *sub-array* dengan 9 *string* terhubung paralel, *circuit breaker* untuk perlindungan *sub-array* harus berada antara 64.46 A dan 123.76 A. Pada kondisi ini, dipilih *circuit breaker* 65 A. Dengan catatan juga bisa memilih untuk memiliki perangkat 72A. PV Array DC isolator akan terletak pada kotak persimpangan *array* sebelum masuk ke inverter. maka arus minimal DC isolator ditentukan pada *rating* nilai

$$1.25 \times ISC_{ARRAY} \quad (2.20)$$

Ini akan memperoleh perolehan *circuit breaker* setidaknya 208 A. Tegangan semua perlindungan dan perangkat pemutusan, serta kabel, tegangan maksimum $V_{DC ARRAY}$ ditentukan pada suhu minimum [15]. Untuk menyesuaikan proteksi *circuit* antara inverter dan Busbar, Busbar dengan kWh meter menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{\text{Inverter VA}}{230 \sqrt{3}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

Inverter VA : Daya Rating Inverter

$$I = \frac{\text{Inverter VA} \times \text{Jumlah Inverter}}{230 \sqrt{3}} \quad (2.22)$$

2.11.9 Cable sizing

Kabel adalah bagian penting dari desain sistem PLTS, baik untuk alasan keselamatan dan efisiensi. Ukuran kabel harus benar sesuai konduktor dan isolasi apabila kabel berukuran dibawah kemampuannya maka kabel dapat menyebabkan bahaya kebakaran. ukuran kabel yang benar adalah akan minimal drop tegangan dan ukuran kabel tidak lebih besar saat ini dalam kabel tidak akan lebih besar dari kemampuan kabel. Ada arus dan tegangan di berbagai bagian dari sistem PV yang berbeda. Oleh karena itu kabel sistem PV dibagi menjadi *string*, *array* dan kabel AC [15].

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_d} \quad (2.23)$$

Keterangan:

- A = Luas penampang (mm²)
- ρ = Resistivitas kawat tembaga 0,0183 Ω mm²/m
- l = Panjang kabel (meter)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

I = Arus melalui kabel (*ampere*)
 V_d = Tegangan jatuh (%)

2.12 Analisis Hasil Produksi Energi Sistem PLTS

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS ditentukan oleh beberapa faktor utama yaitu ukuran PV array, radiasi matahari dan efisiensi sistem pada PLTS.

2.12.1 Menentukan *Output* dari PLTS Ke *Grid-Connected*

Dalam merancangan sistem PLTS penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem itu. Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS tergantung pada sejumlah faktor yaitu Ukuran PLTS, Jumlah iradiasi yang diterima dan total efisiensi sistem.

Output energi rata-rata dari array PV dapat dihitung dengan rumus berikut [15]:

$$E_{array} = P_{stc} \times 365 \times H_{tilt} \times N \times Losses \quad (2.24)$$

Keterangan:

E_{array} = Rata-rata keluaran energi dari PV array (Wh)
 P_{STC} = *Output* daya dinilai modul STC (W)
 H_{tilt} = Radiasi matahari (1 PSH = 1 kWh/m²)
 N = Jumlah modul dalam array
 $Losses$ = Total kerugian diterjemahkan kedalam efisiensi (%)

2.12.2 Rasio Performa (*Performance Ratio*)

Rasio Performa (PR) didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi PV dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV dibawah kondisi uji standar (STC). Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut [21] :

$$\text{Rasio Peforma} = \frac{\text{Hasil produksi energi}}{\text{Produksi energi tanpa losses}} \quad (2.25)$$

2.12.3 Faktor Kapasitas (*Capacity Factor*)

Faktor kapasitas / *Capacity Faktor* pembangkit listrik adalah rasio *output* aktual dari pembangkit listrik *Capacity factor* selama periode waktu dan *output* potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Faktor Kapasitas dari energi surya di Indonesia rata-rata sebesar 18%, ini dipengaruhi oleh kualitas matahari yang melintasi Indonesia. Secara matematis, faktor kapasitas adalah jumlah total energi pabrik yang dihasilkan selama periode waktu dibagi dengan jumlah energi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PLTS akan menghasilkan pada kapasitas penuh. Faktor kapasitas sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan desain pabrik. Hal ini juga menyediakan alat untuk perbandingan kinerja dari berbagai jenis pembangkit. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut [21]:

$$Capacity\ factor = \text{hasil produksi energi} / \text{kapasitas PV} \times (365\ day/years) \times 24h \quad (2.26)$$

2.13 Aspek Ekonomi

Energi yang dihasilkan oleh matahari merupakan energi yang gratis dan memang telah disediakan oleh alam. Namun, hal ini tidak berarti bahwa tidak ada dana yang digunakan untuk membayar produksi energi matahari. Harga sebuah sistem yang digunakan untuk memanfaatkan energi matahari menjadi sebuah energi listrik inilah yang membuat sistem PLTS mahal. Dimana didalamnya terdapat modul, inverter, pemasangan dan peralatan pendukung agar PLTS dapat beroperasi dengan sempurna.

2.13.1 Aspek Biaya

Aspek biaya dalam perancangan BIPV sistem ini yaitu perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC) yang mana terdiri dari perhitungan biaya investasi awal, biaya operasional dan biaya penggantian komponen.

2.13.1.1 *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA)

Pada analisis *Life Cycle Cost*, semua biaya sekarang dan di masa depan berhubungan dengan sistem BIPV yang dibangun. Biaya tersebut dijumlahkan selama sistem BIPV bekerja, namun biaya tersebut tidak hanya energi yang dihasilkan, pemasangan, operasi dan perawatan, perbaikan, biaya pekerja, inflasi dan laju diskon selama investasi. Perbandingan antara *Life Cycle Cost* dengan alternatif menentukan sebuah sistem memiliki biaya yang efektif atau tidak [25]. Untuk menghitung *Life-Cycle Cost* digunakan persamaan seperti pada (2.13).

$$Life\ Cycle\ Cost = S + O\&M + R \quad (2.27)$$

Dimana =

LCC = *Life Cycle Cost*

S = Biaya investasi awal

O&M = Biaya Operasional dan *maintenance*

R = Biaya penggantian komponen

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Biaya O&M yang dikeluarkan selama periode hidup proyek, akan berbeda dari tahun ke tahun. Untuk menghitung biaya O&M yang sesuai dengan laju bunga Bank Indonesia, digunakan perhitungan sebagai berikut [25].

$$O\&M_p = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.28)$$

Dimana =

$O\&M_p$ = Biaya *Present Value* O&M

$O\&M$ = Biaya O&M per tahun

n = Lama *life time* proyek

i = Tingkat bunga bank

Untuk tingkat Bunga Bank yang digunakan diambil dari aturan yang telah ditetapkan oleh Bank Indonesia tahun 2020 yaitu sebesar 4.25% [26].

2.13.1.2 Present Worth Factor (PWF)

PWF adalah metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai dari seluruh biaya pemeliharaan tahunan selama sistem digunakan pada tahun ke sekian dengan menggunakan persamaan 2.29.

$$PWF = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (2.29)$$

Dimana :

r = Tingkat bunga bank

n = Jumlah tahun

2.13.1.3 Cash Flow Analysis (CFA)

Cash Flow Analysis adalah laporan besarnya kas masuk dan kas keluar selama satu periode dari aktivitas operasi, investasi dan pembiayaan. [25].

1. Cash Flow Benefit (CFB)

Cash Flow Benefit adalah aliran uang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan. adapun perhitungan nilai CFB menggunakan persamaan (2.30):

$$CFB = \sum_{t=0}^n Cost (1 + 0,0425) \quad (2.30)$$

2. Cash Flow Cost (CFC)

Cash Flow Cost adalah aliran uang keluar disetiap tahun selama sistem bekerja.

Untuk menghitung CFC digunakan persamaan (2.31):

$$CFC = \sum_{t=0}^n investasi - PWF \quad (2.31)$$

2.13.2 Analisis Finansial

Dalam rangka untuk menilai apakah proyek dapat diterima atau tidak teknik analisis finansial terlebih dahulu melakukan analisis terhadap *Net Present Value* (NPV), *Internal rate of return* (IRR) dan *simple payback* (SP).

2.13.2.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*diccount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan.

Keterangan pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut [27]:

1. Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
2. jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitunganninvestasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
3. Jika nilai NPV yang didapatkan adalah 0 maka itu berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan maka proyek tersebut telah memberikan hasil yang sebanding dengan nilai investasi yang dikeluarkan.

Dengan menggunakan persamaan 2.32 kita dapat mengetahui nilai dari NPV [27]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CFB - CFC \quad (2.32)$$

Keterangan: CFB = *Cash Flow Benefit*

CFC = *Cash Flow Cost*.

2.13.2.2 Internal Rate of Return (IRR)

IRR merupakan nilai discount rate yang membuat nilai NPV suatu proyek sama dengan nol. Berdasarkan perhitungan IRR, apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil tingkat bunga relevan maka investasi dikatakan merugikan dan tidak layak untuk dilaksanakan [27].

Untuk menghitung IRR dapat menggunakan persamaan (2.33).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$IRR = i_1 + \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1), \quad (2.33)$$

Dimana:

IRR = *internal rate of return* (%)

NPV₁ = net present value dengan tingkat bunga rendah

NPV₂ = net present value dengan tingkat bunga tinggi

i₁ = tingkat bunga pertama (%)

i₂ = tingkat bunga kedua (%)

2.13.2.3 Simple Payback

Simple payback adalah Pengembalian modal adalah analisis ekonomi pada sistem PV *grid-connected* metode paling mudah untuk dipahami. Dalam PLTS *simple payback* bertujuan menghitung jumlah waktu yang diperlukan untuk memulihkan biaya Investasi berdasarkan penghematan biaya energi tahunan [27].

Dengan menggunakan persamaan berikut kita dapat mengetahui nilai dari *simple payback* :

$$T = \frac{C}{S} \quad (2.34)$$

Keterangan: T = periode dana kembali, selama 1 tahun

C = biaya modal awal bersih BIPV (biaya sistem dan kredit telah dikurangi)

S = biaya energi listrik yang terjual

2.14 Aspek Emisi

Analisis potensi reduksi emisi CO₂ melalui pembangunan Pembangkit Listrik BIPV dilakukan dengan mengurangi jumlah energi listrik dari pembangkit berbahan bakar fosil dan mengganti dengan PV. Pemanfaatan PV merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca.

Analisis potensi reduksi emisi CO₂ melalui pembangunan Pembangkit Listrik BIPV System dilakukan dengan mengurangi jumlah energi listrik dari pembangkit berbahan bakar fosil dan mengganti dengan PV. Berdasarkan pada penggunaan energi listrik yang berasal dari pembangkit berbahan bakar fosil dapat diketahui rata-rata faktor emisi CO₂ pembangkit berbahan bakar fosil adalah 0.730 kg CO₂/kWh khusus pembangkitan listrik yang ada dipulau Sumatera. Kemudian dihitung potensi pengurangan CO₂ dengan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pergantian tersebut. Artinya untuk menghasilkan energi listrik 1 kWh melalui pembangkit berbahan bakar fosil dihasilkan emisi CO₂ sebesar 0.730 kg [28].

Berikut persamaan perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti bahan bakar fosil dengan energi terbarukan:

$$eCO_2 = kWh \times ef \quad (2.35)$$

Keterangan:

eCO₂ = Emisi CO₂ (tCO₂)

kWh = Produksi energi listrik pertahun (kWh)

ef = *emission factor*

2.15 COMSOL Multiphysics

COMSOL multi-fisika merupakan piranti interaktif untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik berdasarkan pada persamaan differensial parsial (PDEs). Dengan piranti lunak comsol ini dapat dengan mudah memperluas model konvensional untuk salah satu tipe ilmu fisika menjadi model-model multi-fisika yang dapat memecahkan gabungan fenomena fisika dan menyelesaikannya secara bersamaan. Dengan menggunakan mode aplikasi ini dapat melakukan berbagai macam tipe analisis *Stasioner*, Analisis *Linear* dan *Non-Linear*, *Eigenfrekuensi* dan analisa Pengadaian.

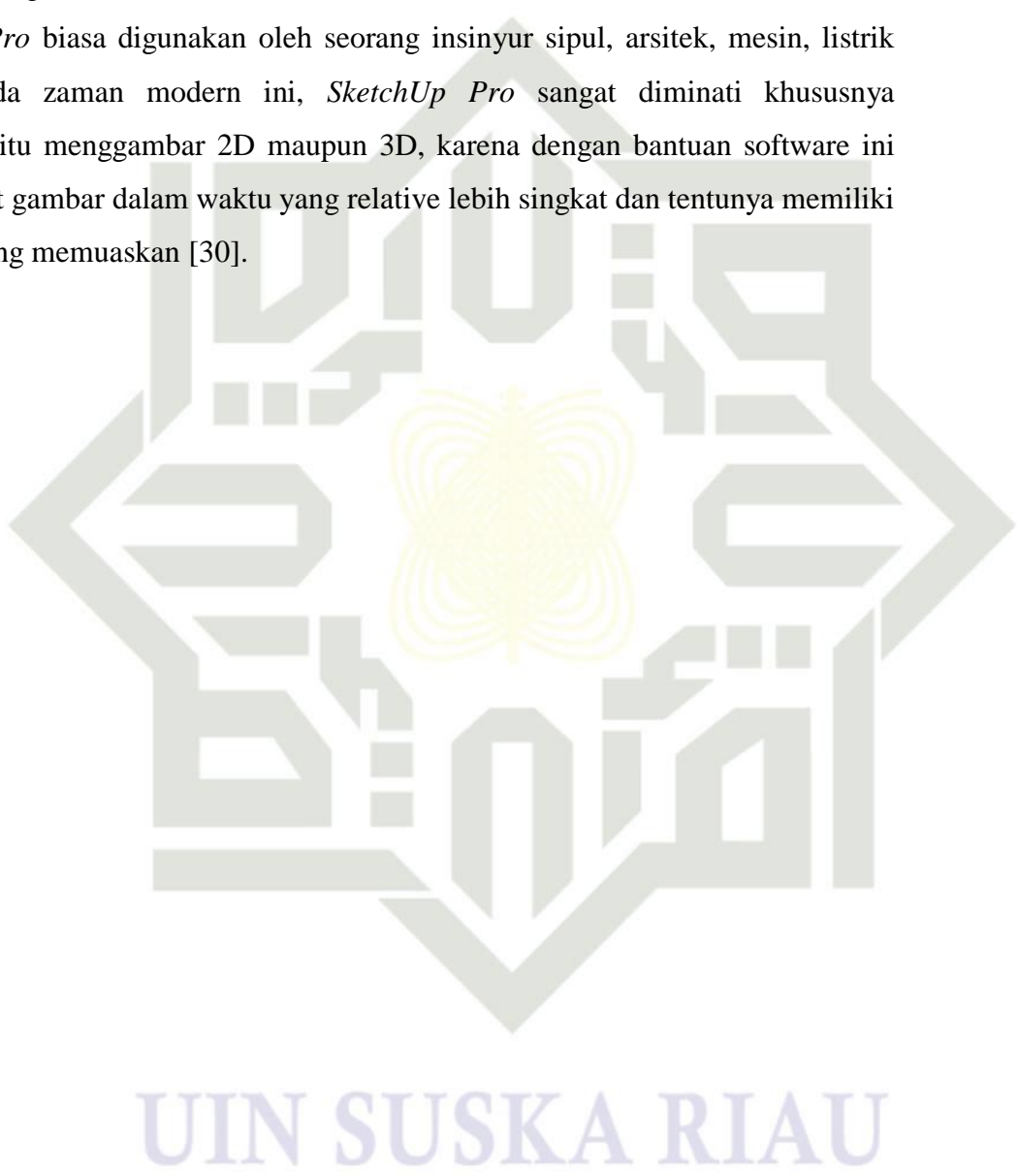
COMSOL Multi-Fisika terdapat model. Berkat model-moel Fisika sanat memungkinkan membangun model dengan mendefinisikan jumlah fisik yang relevan seperti sifat material, beban, kendala, sumber dan fluks berbanding dngan mendefinisikan persamaan-persamaan matematika. Pada COMSOL dapat juga menerapkan variable, lamang, atau nomor secara langsung ke bidang batas, tepi dan titik dengan bebas pada jaringan komputansi. COMSOL Multi-Fisika kemudian secara internal menyusun seperangkat PDEs mewakili seluruh model.

Ketika pemecahan PDEs, COMSOL menggunakan analisis metode *Finite Element Method* (FEM). Piranti ini menjalankan analisis elemen hingga bersamaan dengan jaringan adaptif dan mengotrol error dengan berbagai pemecah numerik. PDEs membentuk dasar hukum sains dan menyediakan basik dasar untuk memodelkan berbagai fenomena ilmiah dan McKayasa. Oleh karena itu dapat menggunakan COMSOL *multiphysics* berbagai area aplikasi [29].

2.16 *SketchUp Pro*

SketchUp Pro merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk membuat pemodelan gambar desain atau sketsa secara 2D maupun 3D. *SketchUp* adalah *software* yang cukup populer di dunia karena keunggulannya dalam mengembangkan produk-produknya.. *SketcUp Pro* terus berinovasi dengan mengembangkan versi-versi terbarunya dengan fitur-fitur yang lebih menarik.

SketchUp Pro biasa digunakan oleh seorang insinyur sipul, arsitek, mesin, listrik dan lain-lain. Pada zaman modern ini, *SketchUp Pro* sangat diminati khususnya menggambar baik itu menggambar 2D maupun 3D, karena dengan bantuan *software* ini kita dapat membuat gambar dalam waktu yang relative lebih singkat dan tentunya memiliki kualitas gambar yang memuaskan [30].



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian pada tugas akhir ini adalah Perancangan Pemangkit Listrik *BIPV On- Grid System* pada gedung Rektorat dengan memanfaatkan dinding bangunan bersifat kuantitatif. Adapun aspek kuantitatif pada penelitian ini yaitu pengumpulan data seperti luas dinding bangunan, potensi radiasi matahari pada lokasi, beban listrik gedung Rektorat. Data-data tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan sistem BIPV yang sesuai pada lokasi.

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan kemudian merancang sistem BIPV sesuai ruang dinding yang tersedia pada gedung, mulai dari menentukan konfigurasi *array*, menentukan pemilihan modul, sistem pemasangan dan pemilihan inverter. Selanjutnya mensimulasikan hasil perancangan serta menganalisa aspek teknis, ekonomi dan emisi.

3.2 Lokasi Penelitian

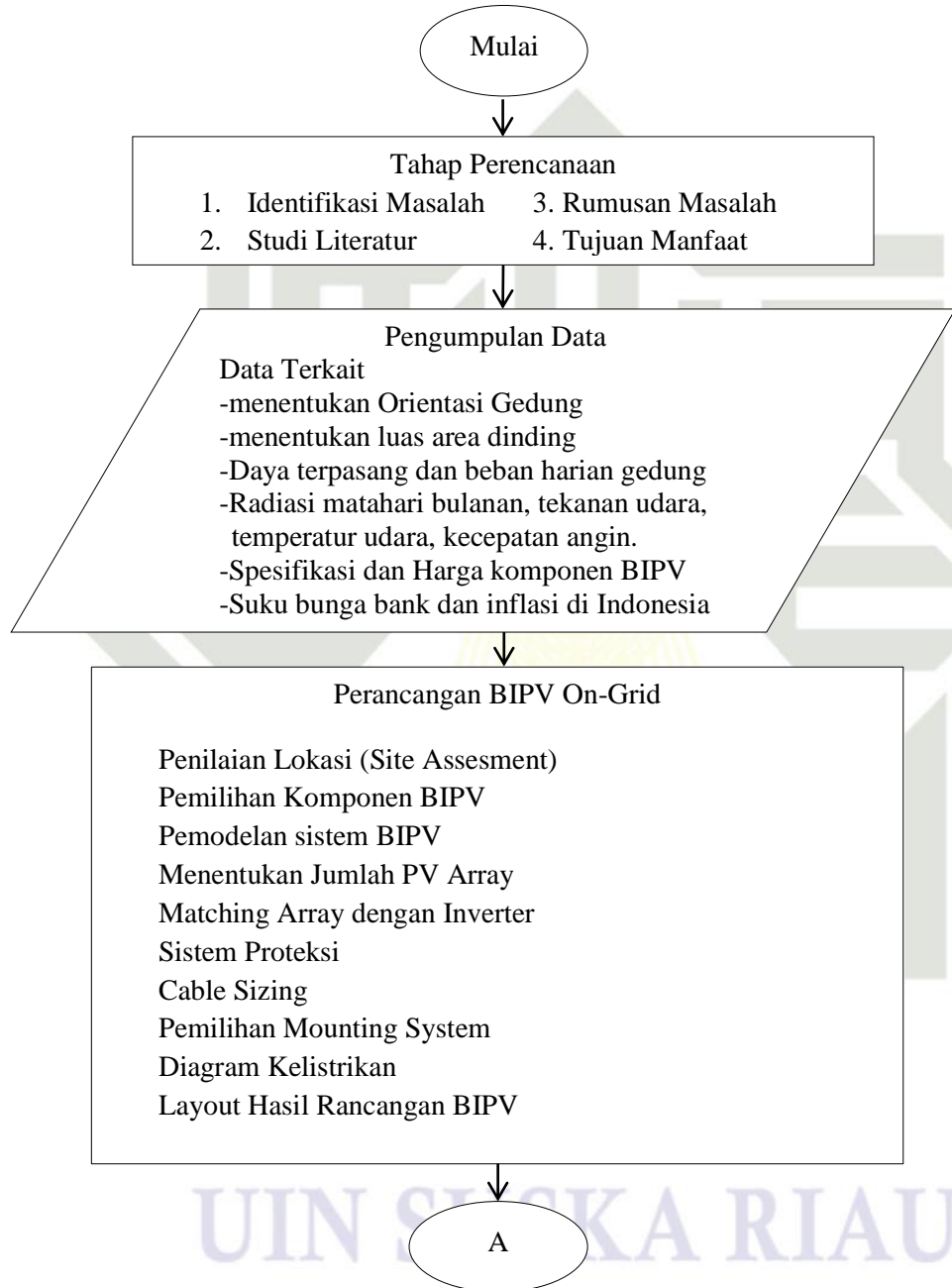
Penelitian ini tentang perancangan Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On- Grid System* dengan memanfaatkan dinding pada gedung Rektorat kampus UIN SUSKA Riau. Gedung ini beralamat di Jl. H.R Soebrantas Km. 15 Panam – Pekanbaru



Gambar 3.1 Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau

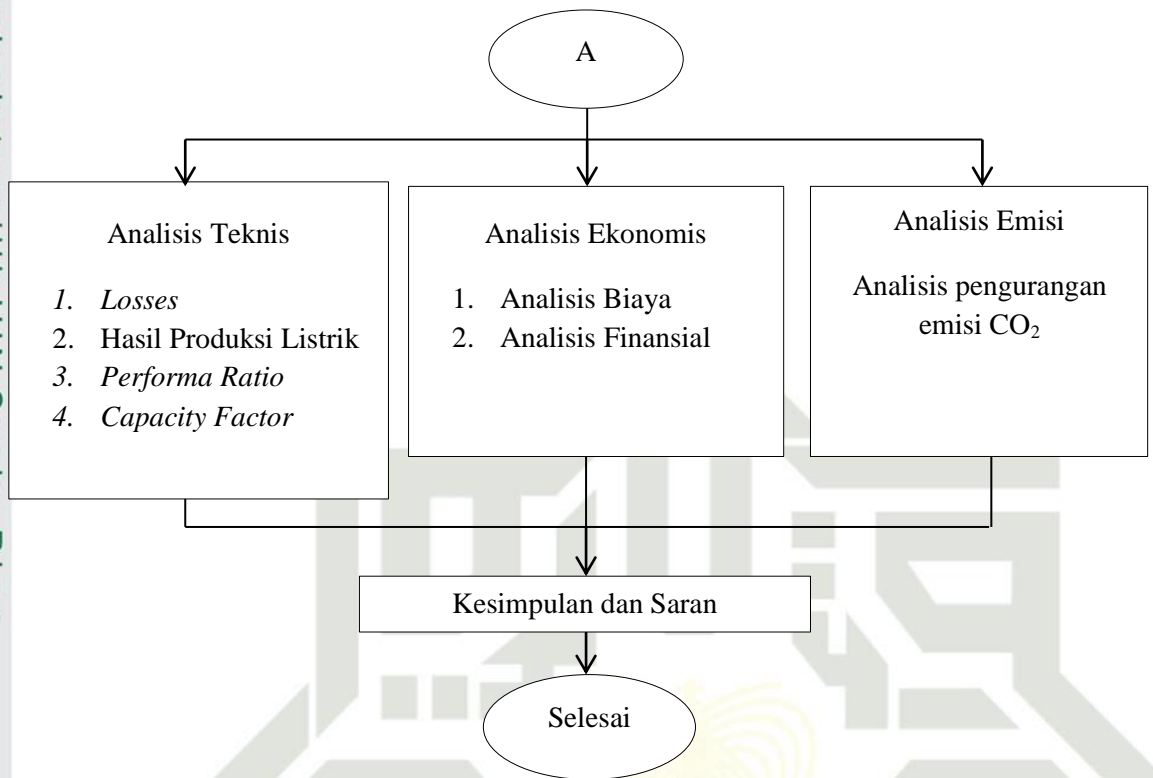
Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah proses penelitian yang akan dimulai dari mengidentifikasi masalah, pengumpulan data hingga kesimpulan penelitian. Prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.2 Prosedur Penelitian

3.4 Tahap Perencanaan

3.4.1 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini adalah tingginya konsumsi energi listrik pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau, maka pemasangan PLTS BIPV System perlu dilakukan. *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)* adalah suatu integrasi antara bangunan dengan sel Photovoltaic yang dirancang pada selubung bangunan sehingga tercapai bentuk konstruksi bangunan yang diinginkan dan terlihat lebih baik dari sebelumnya, selain menambah kesan arsitektur pada bangunan juga menjadi sumber energi pada bangunan tersebut. Pada studi kasus gedung Rektorat UIN SUSKA Riau BIPV akan diintegrasikan pada selubung bangunan bagian dinding sehingga akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dan juga untuk mengurangi pemakaian listrik yang berlebihan pada bangunan.

3.4.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap dalam mencari teori yang berhubungan dengan Pembangkit Listrik *BIPV On- Grid System*. Antara lain, pemilihan lokasi, potensi radiasi matahari, perancangan sistem BIPV. Studi literatur ini dilakukan untuk membantu mengetahui data apa saja yang diperlukan dalam penelitian serta cara pengolahan data tersebut.

3.4.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan, maka rumusan masalah yaitu bagaimana merancang pembangkit listrik *BIPV On-grid System* yang memanfaatkan dinding gedung rektorat UIN SUSKA Riau, bagaimana menganalisis aspek teknis, ekonomi serta pengurangan emisi dari perancangan pembangkit listrik *BIPV On-grid* pada gedung rektorat UIN SUSKA Riau yang mencakup biaya siklus hidup (LCC), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Simple Payback* (SP).

3.4.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk menentukan perancangan pembangkit listrik BIPV dengan menganalisis beberapa aspek yaitu menganalisis aspek teknis dan ekonomis pembangunan Pembangkit Listrik *BIPV On-Grid System* yang akan dirancang didinding bangunan yang diharapkan dapat diaplikasikan pembangunannya serta mengetahui pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan dengan adanya sistem pembangkit energi terbarukan khususnya dibidang pembangkit listrik tenaga surya.

3.5 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari studi literatur dari jurnal-jurnal serta referensi lain yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit listrik. Adapun data-data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

3.5.1 Data Primer

Data Primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan survey langsung kelokasi penelitian. Data-data tersebut untuk memastikan area yang dapat digunakan dalam analisis teknik perancangan BIPV System, data ini meliputi:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

luas bangunan, luas dinding bangunan, ketinggian bangunan serta material bangunan yang didapatkan dari buku arsitektur bangunan gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari literatur dan jurnal-jurnal serta referensi lain yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit tenaga listrik. Data ini meliputi:

- a. Data radiasi matahari wilayah Pekanbaru khususnya dikampus UIN SUSKA Riau yang bersumber dari *Prediction Of Worldwide Energy Resourch* (POWER) milik NASA yang diambil menggunakan *tools PVWatts*.
- b. Data kecepatan angin, temperatur udara dan tekanan udara wilayah Pekanbaru khususnya dikampus UIN SUSKA Riau yang bersumber dari *Prediction Of Worldwide Energy Resourch* (POWER) milik NASA
- c. Data konsumsi energi listrik pada gedung rektorat yang diambil dari penelitian[8],
- d. Data regulasi, tingkat suku bunga serta inflasi yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit listrik yang diambil dari situs online.

3.6 Perancangan Pembangkit Listrik BIPV On-Grid System

Dalam perancangan BIPV *On-Grid System*, peneliti membuat rancangannya sesuai kapasitas ruang dinding yang tersedia pada bangunan dan potensi radiasi matahari yang ada pada lokasi. Penelitian ini merupakan sebuah perencanaan pembangkit listrik BIPV *On-Grid System* pada gedung Rektorat.

Pada perancangan sistem Pembangkit Listrik BIPV *On- Grid System* ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. Penilaian Lokasi
2. Pemilihan Komponen BIPV
3. Pemodelan Sistem BIPV
4. Menentukan Jumlah PV array
5. *Matching Array* dengan *Inverter*
6. Sistem Proteksi
7. *Cable Sizing*
8. Pemilihan *Mounting System*
9. Diagram Kelistrikan

10. Rancangan akhir BIPV

11. *Layout* Hasil Rancangan BIPV

Perancangan sistem pembangkit pada penelitian ini sebagian besar menggunakan Buku Panduan GSES (*Global Sustainable Energy Solutions*) yaitu berjudul *Grid-Connected PV System design and instlation* dan beberapa panduan *BIPV grid-connected PV system*.

3.6.1 Penilaian Lokasi

Penilaian lokasi ini dilakukan dengan memasukkan titik koordinat dari gedung Rektorat UIN SUSKA Riau untuk mendapatkan data radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur udara dan tekanan udara dilokasi penelitian yang akan dilakukan, untuk mendapatkan data radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur udara dan tekanan udara pada penelitian menggunakan data dari NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources* (POWER).

3.6.2 Pemilihan Komponen BIPV

Pemilihan komponen yang dilakukan seperti menentukan jenis modul yang akan digunakan, jenis inverter yang sesuai dengan kebutuhan agar mendapatkan konfigurasi rancangan yang ideal dapat dilakukan dengan bantuan katalog atau daftar peralatan tersebut baik lokal maupun internasional.

3.6.3 Pemodelan Sistem BIPV

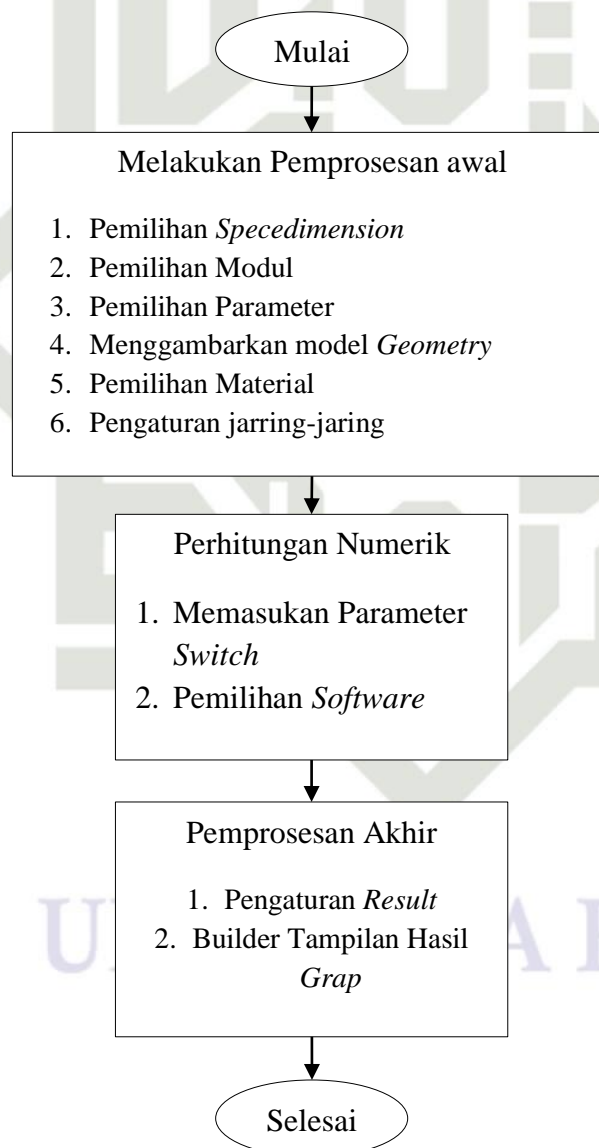
Penelitian ini merupakan perluasan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Chi Ming Lai, Yi Pin Li. Dengan melakukan penambahan sistem ventilasi pada BIPV untuk mengurangi panas yang dihasilkan sel PV, dan ini merupakan pemodelan yang telah dilakukan liaou dkk , pada *Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in A BIPV-Thermal System*.

Pada penelitian ini penulis melakukan penambahan analisis berupa modifikasi jarak pada ventilasi model BIPV, untuk mengetahui pada jarak berapa efisiensi dari BIPV yang optimal, berdasarkan data-data terkait. Adapun sel PV yang digunakan berupa jenis *Poly Crystalline* dengan efisiensi mencapai 17.49%.

Validasi merupakan suatu tindakan membuktikan suatu penelitian itu benar dengan suatu alat ukur sehingga mencapai hasil yang diinginkan. Tujuan dari validasi adalah memastikan hasil dari suatu penelitian mendekati nyata dan mempertahankan

validitas dari penelitian tersebut. Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan menggunakan persamaan dan desain BIPV dari penelitian yang berjudul “*Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System*”, dan untuk proses perpindahan panas (*Heat Transfer*) akan mengacu dari peneltian berjudul “*Energy Saving Evaluation BIPV Walls*”. Setelah hasil simulasi didapatkan sesuai dengan jurnal rujukan, maka kemudian menjalankan simulasi berdasarkan permasalahan dan sistem pada penelitian ini.

Dalam melakukan simulasi dibutuhkan suatu alur untuk mempermudah penelitain dalam menjalankan simulasi. Adapun langkah-langkah simulasi menggunakan Comsol Mulyiphysic sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Simulasi *Comsol Multiphysics 5.4*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

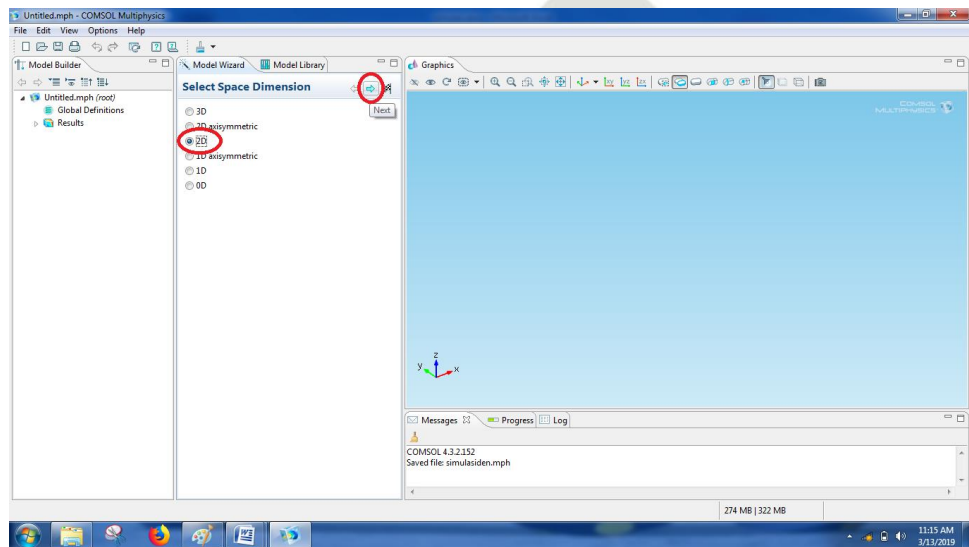
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada alur diagram simulasi memiliki beberapa proses tahap yang harus ditempuh dalam melaksanakan penelitian ini, diantaranya:

1. Melakukan Pemrosesan Awal

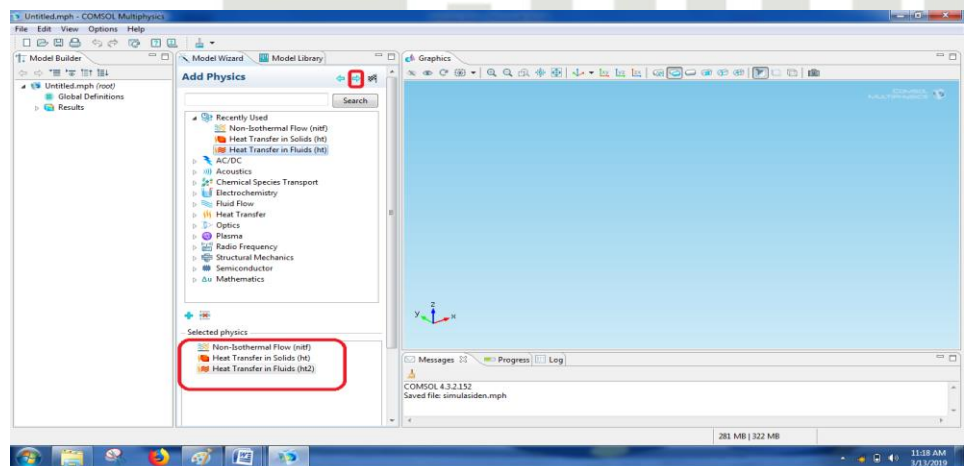
Adapun langkah-langkah dalam proses awal dalam melakukan simulasi sebagai berikut:

1. Langkah awal dilakukan adalah menentukan spacedimension yang akan dilakukan pada simulasi, ini merupakan system pemodelan nantinya.



Gambar 3.4 Pemilihan Spacedimension

2. Pemilihan modul yang digunakan pada simulasi berdasarkan kebutuhan yang ingin dilakukan untuk tujuan simulasi.

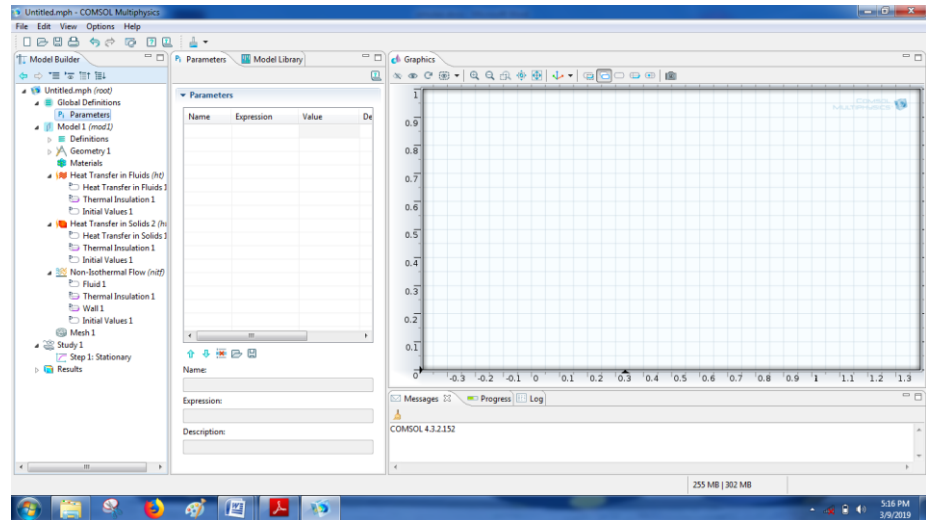


Gambar 3.5 Pemilihan Sub Modul *Fluid Flow* dan *Heat Transfer*

3. Selanjutnya memasukkan parameter yang digunakan berdasarkan kebutuhan yang disimulasikan pada kolom parameter.

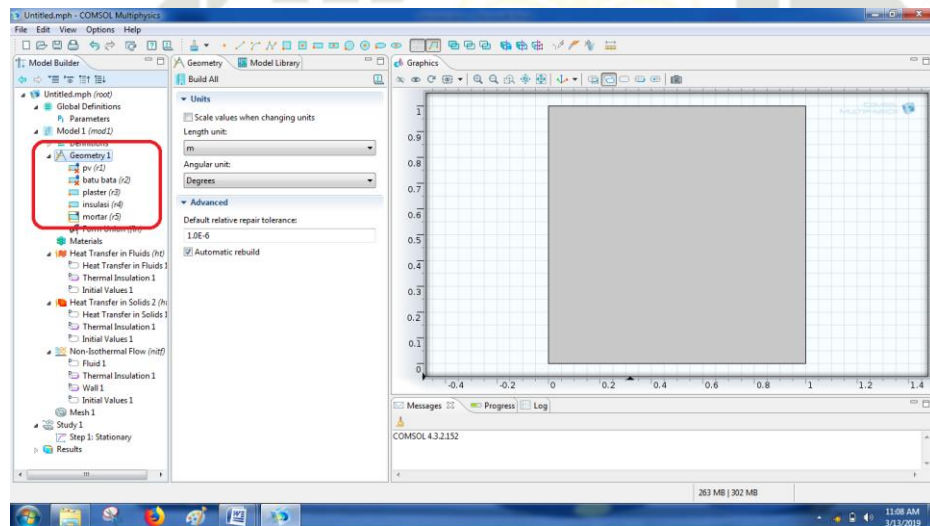
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.6 Kolom tabel pada *Comsol Multiphysic*

4. Setelah memasukkan parameter, selanjutnya menggambarkan geometri yang digunakan dengan memilih “model” dan *input* geometri sebanyak yang digunakan lalu *input* nilai ukuran pada geometri.

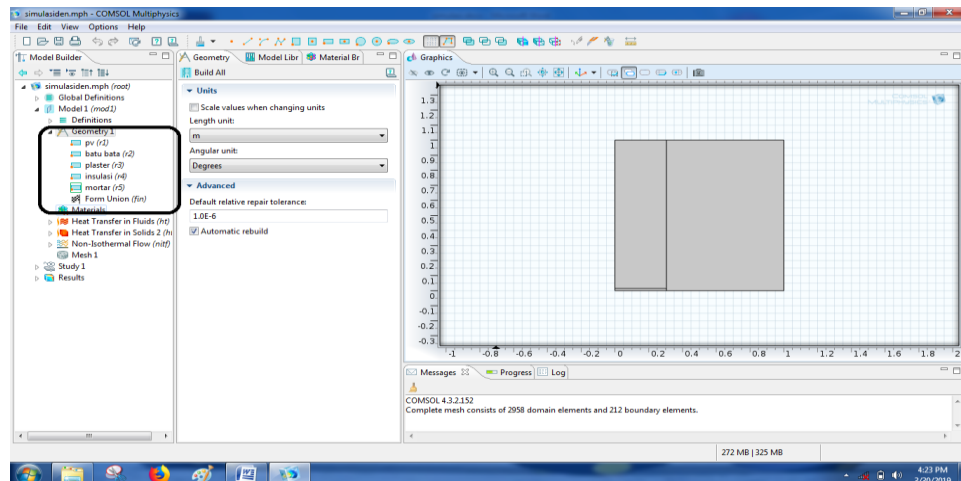


Gambar 3.7 Model *Geometry* BIPV pada *Comsol Multiphysic*

5. Langkah selanjutnya melakukan pemilihan material yang digunakan dalam BIPV. Adapun bahan material konduktor yang dipilih untuk digunakan berupa(Udara, PV, batu-bata, plaster dan gypsum). Kemudian membuat batasan *selection* dari material pada kolom *geometry entity selection*.

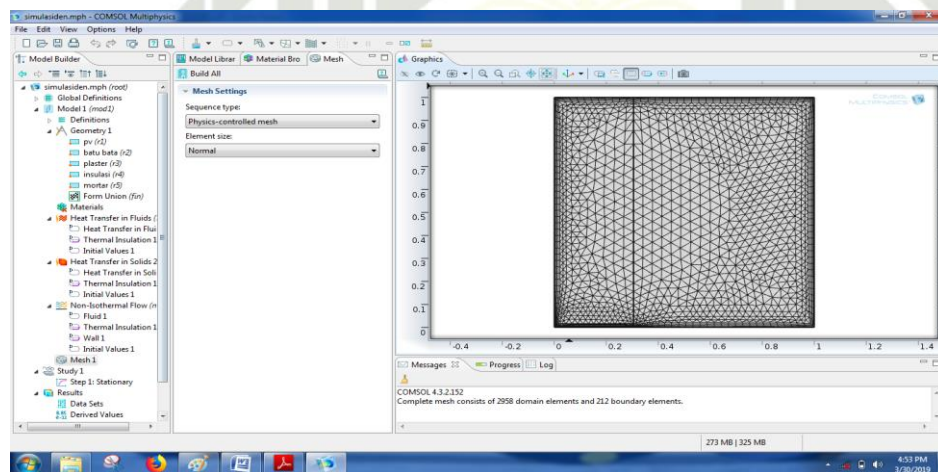
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.8 Material BIPV

6. Selanjutnya kita dapat melihat jarring-jaring pada pemrosesan awal dari BIPV yang terdapat pada *Mesh*, dengan mengatur mesh setting sesuai yang diinginkan lalu jalankan dengan klik *build all*.



Gambar 3.9 Jaring-jaring *Mesh*

Perhitungan Numerik

Melakukan perhitungan numerik yaitu perhitungan numerik adalah proses yang dijalankan sesuai parameter variable, yang berdasarkan nilai yang nantinya akan di *input* kan. Perhitungan numerik akan dilakukan oleh *software comsol Multiphysic 5.4* di dalam aplikasi secara otomatis dengan memilih *solfwos*.

Melakukan Pemrosesan Akhir

Melakukan pemrosesan akhir yaitu tahap akhir dari simulasi *comsol multiphysic* dimana pada pemrosesan akhir ini adalah pengaturan *Result* dan pengaturan *bilder* guna untuk menampilkan hasil grafik. Setelah selesai maka dilakukan validasi yang merupakan proses penentuan apakah model konsep simulasi BIPV ventilasi benar-benar merupakan

representasi akurat/mendekati dari sistem nyata yang dimodelkan dari jurnal *Energy Saving Evaluation BIPV Walls*.

Adapun Keluaran dari pemodelan sistem BIPV ini berupa nilai dari profil kecepatan temperatur, profil temperatur pada panel PV, efisiensi panel PV serta efisiensi pembangkit listrik BIPV secara menyeluruh yang dihasilkan oleh sistem BIPV dan juga produksi energi listrik yang dihasilkan dari sistem BIPV berdasarkan parameter *inputan* pada simulasi.

3.6.4 Menentukan Jumlah PV Array

Kapasitas panel surya dirancang dan dihitung berdasarkan luas dinding yang terdapat pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau. Dalam penentuan kapasitas panel surya, terkait didalamnya melakukan pemilihan modul surya disesuaikan dengan kebutuhan area yang tersedia.

3.6.5 Matching Array dengan Inverter

Kapasitas inverter ditentukan sesuai dengan kebutuhan panel surya yang dibutuhkan. Inverter berfungsi mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik AC agar energi listrik yang diproduksi sel surya dapat digunakan pada peralatan listrik yang membutuhkan listrik AC. Perhitungan terkait dalam menyesuaikan *array* dengan spesifikasi tegangan inverter sesuai yang dibutuhkan. Pada matching array dengan inverter ini menggunakan persamaan (2.11 s/d 2.17).

3.6.6 Sistem Proteksi

Sistem Proteksi merupakan salah satu aspek paling penting ketika merancang sebuah sistem pembangkit listrik BIPV yang aman dan terpercaya. Perlindungan sisten diperlukan untuk meminimalkan resiko kerusakan pada komponen sistem seperti kabel dan modul. Pada sistem proteksi ini menggunakan persamaan (2.18 s/d 2.22).

3.6.7 Cable Sizing

Kabel adalah bagian penting dari desain sistem PLTS, baik untuk alas an keselamatan dan efisiensi. Ukuran kabel harus benar sesuai konduktor dan isolasi, apabila kabel berukuran dibawah kemampuannya maka dapat menyebabkan bahaya kebakaran. Cable sizing didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.23).

3.6.8 Pemilihan *Mounting System*

Mounted System pada perancangan Pembangkit Listrik BIPV ini merupakan sistem *façade* yaitu *doubleskin façade*. Pemilihan ini dilakukan untuk pemasangan modul PV pada rangka yang dipasangkan pada dinding bangunan agar dapat disusun dan menopang umlah modul yang ada dengan menentukan komponen apa saja yang akan dipakai.

3.6.9 Diagram Kelistrikan

Diagram kelistrikan bertujuan untuk mempermudah kita dalam memahami sistem Pembangkit Listrik BIPV *On-Grid System* yang telah dirancang. Dengan adanya diagram kelistrikan akan menjadi lebih mudah untuk memahami dan menganalisis suatu sistem yang sudah dirancang.

3.6.10 Layout Hasil Rancangan

Setelah mendapatkan hasil perancangan PLTS, hal selanjutnya yang dilakukan adalah membuat gambar teknik perancangan PLTS menggunakan software SketchUp Pro. Pembuatan gambar teknik ini bertujuan untuk mempresentasikan hasil perancangan dalam bentuk gambar 3D melalui proses komputerisasi yang sesuai dengan keadaan nyata di gedung Rektorat UIN SUSKA Riau. Gambar teknik yang dihasilkan berupa gambar *Layout array* panel surya yang dipasang pada tiap orientasi dinding gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.

3.7 Aspek Teknis

Analisa teknis secara rinci dilaksanakan lebih detail untuk perancangan PLTS. Setelah dilakukan analisis bagaimana pemasangan PLTS, dalam aspek teknis ini peneliti menghitung potensi energi PLTS hingga menghasilkan energi sesuai dengan potensi radiasi dan efisiensi yang ada pada sistem yang dirancang menggunakan *software Comsol* serta menghitung *losses*, *performance ratio* dan *capacity factor*. Yang dimana aspek teknis terlebih dahulu mengacu kepada data studi pendahuluan yang sudah dilakukan.

3.7.1 Losses

Secara teoritis seharusnya pembangkit listrik BIPV dapat memiliki efisiensi 100%. Tapi ini tidak terjadi ketika memasang sistem fisik secara nyata. Sebuah PV array memiliki beberapa faktor yang dapat menyebabkan kerugian secara tahunan yang akan dipotong dari total *rating* daya BIPV [5]. Ada beberapa *losses* yang terdapat pada BIPV

On-grid yaitu: Drop tegangan, Debu dan Kotoran, Shading, Inverter, Temperatur, Toleransi Pabrik.

3.7.2 Hasil Produksi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem BIPV ditentukan oleh beberapa faktor utama yaitu ukuran PV array, radiasi matahari dan efisiensi pada sistem BIPV. Untuk mengetahui berapa daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem BIPV pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dengan terlebih dahulu menghitung efisiensi kemudian menghitung daya listrik menggunakan persamaan (2.9, 2.10, 2.24).

3.7.3 Rasio Performa (*Performance Ratio*)

Rasio performa didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi PV dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energy yang dihasilkan oleh modul PV dibawah kondisi uji standar (STC). untuk mendapatkan nilai dari rasio performa dapat dihitung menggunakan persamaan (2.25).

3.7.4 Faktor Kapasitas (*Capacity Factor*)

Faktor kapasitas pembangkit listrik adalah rasio output actual dari pembangkit listrik selama periode waktu dan output potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Faktor kapasitas adalah jumlah total energi yang dihasilkan selama periode waktu dibagi dengan jumlah energi BIPV akan menghasilkan pada kapasitas penuh. Untuk mendapatkan nilai dari faktor kapasitas dapat dihitung menggunakan persamaan (2.26).

3.8 Aspek Ekonomi

Stelah peneliti merancang komponen utama PLTS kemudian peneliti membuat analisis dari aspek ekonomi. Aspek ekonomi ini meliputi *life cycle cost* (LCC) yang meliputi biaya invetasi, biaya operasi dan maintenance serta biaya penggantian. *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Of Return* (IRR) dan *Simple Payback* (SP).

Analisis biaya terdiri dari biaya investasi, biaya operation dan maintenance (O&M) serta biaya penggantian (*replacement*) selama umur proyek 20 tahun. Analisis finansial menggunakan parameter kelayakan yaiu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Of Return* (IRR) dan *Simple Payback* (SP).

3.8.1 Analisis Biaya

Biaya- biaya ini meliputi biaya utama yaitu biaya investasi awal, biaya O&M dan biaya penggantian. Adapun tahapannya sebagai berikut:

Biaya Investasi

Biaya investasi meliputi biaya Seluruh kebutuhan mulai dari biaya perancangan, pembelian komponen, pembangunan/pemasangan dan perawatan sistem PLTS dihitung untuk mengetahui jumlah seluruh biaya total sistem PLTS. Biaya total akan diberikan kepada konsumen untuk pertimbangan pemasangan sistem PLTS.

Biaya *Operation & Maintenance* (O&M)

Biaya O&M pertahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal.

Biaya Investasi Penggantian Komponen

Biaya investasi ini meliputi biaya penggantian inverter sesuai periode dari spesifikasi

3.8.1.1 *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA)

Biaya siklus hidup pada penelitian ini diasumsikan beroperasi selama 20 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada jual beli listrik ke PLN sesuai peratran jual beli listrik no. 19 tahun 2016. Untuk mendapatkan nilai LCC dapat dihitung menggunakan persamaan (2.27).

3.8.1.2 *Cash Flow Analysis* (CFA)

Dalam suatu proyek pembangunan dan pengoperasian sistem pembangkit listrik, tentu akan menimbulkan adanya biaya- biaya pendapatan dan biaya pengeluaran selama sistem berjalan dalam hal ini diperlukan analisis *cash flow* untuk mengetahui biaya tersebut.

1. *Cash Flow Benefit* (CFB)

Cash Flow Benefit (CFB) adalah aliran uang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan. Aliran uang masuk disetiap tahunnya dihitung berdasarkan nilai suku bunga berjalan pada tahun tersebut. Untuk menghitung nilai CFB dapat menggunakan persamaan (2.30).

Cash Flow Cost (CFC)

Cash Flow Cost (CFC) adalah aliran uang keluar disetiap tahun selama sistem bekerja. Uang ini terdiri dari total investasi sistem selama umur proyek. Untuk menghitung nilai CFC dapat menggunakan persamaan (2.31).

3.8.2 Analisis Finansial

Dalam analisis finansial dilakukan analisis terhadap *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Of Return* (IRR) dan *Simple Payback* (SP). Perhitungan NPV, IRR dan SP ditentukan oleh besar arus kas bersih (*Net Cash Flow*), faktor diskonto (*discount factor*) dan nilai sekarang arus kas bersih (*Present Value Net Cash Flow*). Parameter analisis finansial sistem BIPV adalah sebagai berikut:

3.8.2.1 *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value (NPV) yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan suatu proyek. Hasil NPV tergantung pada jumlah yang diperoleh. Jika nilai NPV positif, proyek tersebut menguntungkan dan sebaliknya jika nilai tersebut adalah negatif maka proyek tidak layak. Tujuan dari NPV adalah untuk menunjukkan jika biaya modal proyek dapat ditutupi dengan kembalinya investasi selama periode waktu. Untuk mendapatkan nilai NPV dapat dihitung menggunakan persamaan (2.32).

3.8.2.2 *Internal Rate Of Return (IRR)*

Sebagai tujuan jika IRR lebih besar untuk nilai investasi dari proyek, investasi harus dilakukan, jika IRR lebih rendah untuk nilai investasi, proyek tidak boleh dilakukan atau tidak layak. Untuk mendapatkan nilai IRR dapat dihitung menggunakan persamaan (2.33).

3.8.2.3 *Simple Payback*

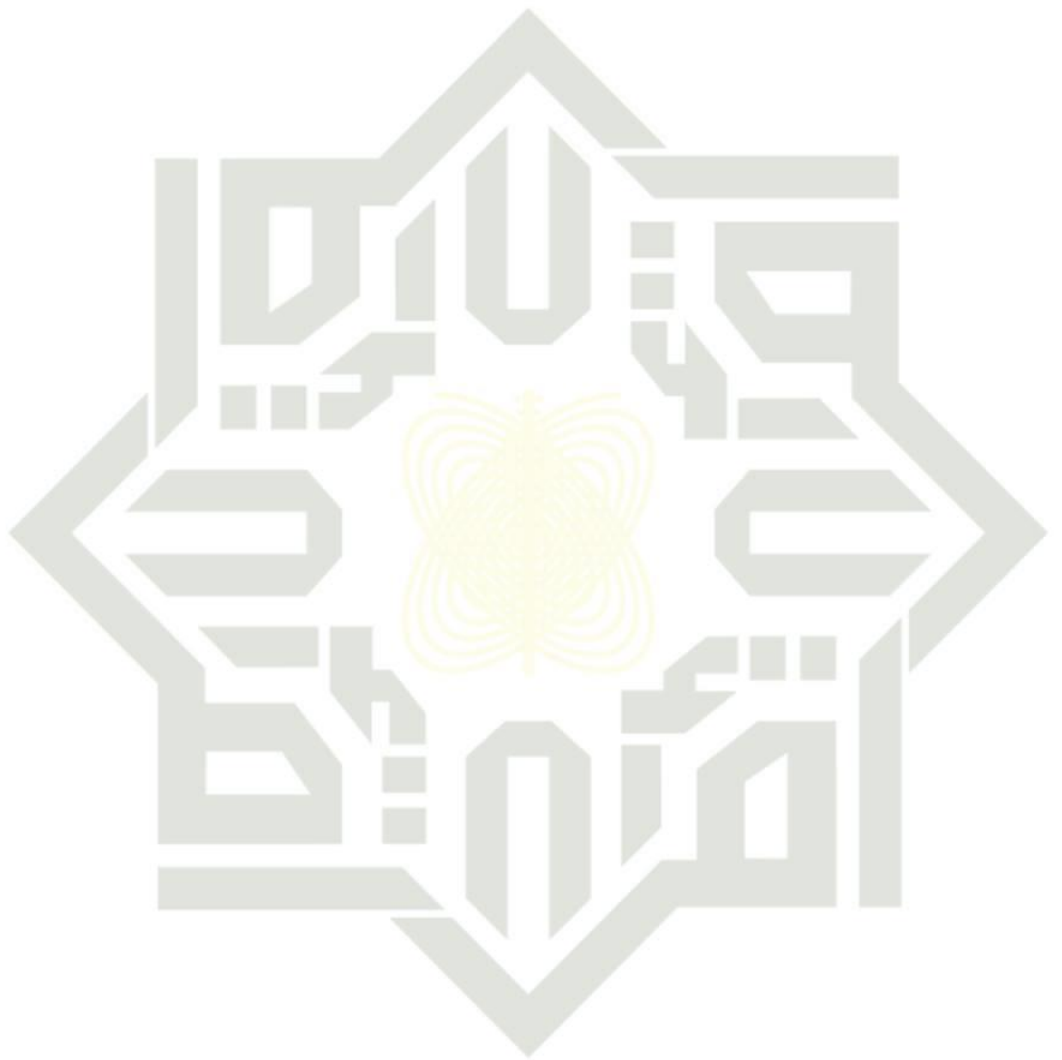
Waktu pengambilan modal adalah jumlah yang diperlukan dari tahun untuk memulihkan semua biaya investasi. Dengan menggunakan persamaan (2.34) kita dapat mengetahui nilai dari *simple payback*.

3.9 Analisis Emisi

Pembangkit Listrik Konvensional berbahan bakar fosil berdampak negatif dari pembakaran bahan bakar fosil yang menyebabkan gas rumah kaca seperti karbon dioksida

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- (CO₂) semakin meningkat. Untuk itu pembangkit listrik berbahan fosil mestinya segera diganti dengan energi terbarukan. Pada penelitian ini, analisis emisi bertujuan untuk memperkirakan pengurangan emisi gas rumah kaca dari potensi Pembangkit Listrik sistem BIPV menggunakan persamaan (2.35). Hasil dihitung sebagai ton setara CO₂ dihindari pertahun.
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

BAB V

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dari analisis Perancangan Pembangkit Listrik Building Integrated Photovoltaic (BIPV) *On-Grid System* (Studi Kasus: Gedung Rektorat UIN SUSKA), tahapan analisis perancangan pada penelitian ini yaitu analisis teknis, analisis ekonomi dan analisis emisi didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Perancangan BIPV *On-Grid System* pada Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau adalah perancangan yang memanfaatkan luas permukaan dinding gedung dengan luas sebesar 490.3 m² dengan metode *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System*. Kapasitas daya dari perancangan ini sebesar 110.88 kWp dengan menggunakan 336 modul surya dan 2 unit inverter. Dari proses desain *array* dan inverter dapat disimpulkan bahwa inverter SMA *Sunny Tripower* 60k dapat *mengcover* modul REC Solar 330 Wp sebanyak 185 buah. Dari perhitungan diatas terdapat beberapa kemungkinan, salah satunya dapat dikonfigurasi *array* terdiri dari MPPT 1 terdapat 11 paralel string dengan 15 modul tiap string. Konfigurasi ini bertujuan memaksimalkan total modul surya yang dapat *discover* oleh inverter dengan daya cover sebesar 61,240 Watt.
2. Produksi listrik dari pembangkit listrik BIPV *On-Grid System* ini sebesar 57.79 MWh/tahun pada tahun pertama dengan *losses* sistem sebesar 15.86%, rasio performa 84% dan faktor kapasitas 5.94%. Untuk hasil analisis ekonomi, investasi awal PLTS sebesar Rp 1,535,432,913.00 dan uang masuk pertahun rata-rata sebesar Rp. 225,831,858.00. Penjualan listrik hasil produksi PLTS *floating pv system* menghasilkan nilai NPV bernilai positif yaitu sebesar Rp 2,680,286,383.00, IRR sebesar 10.6%, dan *Simple Payback* (SP) selama 10.8 tahun selama umur proyek 20 tahun. Berdasarkan hasil analisis finansial, pembangkit listrik BIPV *On-Grid System* layak untuk dibangun.
3. Kemudian hasil dari analisis pengurangan emisi pada perancangan pembangkit listrik BIPV *system* ini mampu mengurangi emisi CO₂ sebesar 42.18 tonCO₂/tahun.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang 5.2

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. *Layout* pada perancangan pembangkit listrik BIPV *system* ini dibuat menggunakan *software SketchupPro* yang mana hasil rancangan akhir ini berupa gambar *layout* BIPV *On-Grid* pada dinding gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dengan jumlah modul surya yang dapat dipasang pada permukaan dinding gedung rektorat sebanyak 336 modul surya.

Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut di masa yang akan datang.

Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan penerapan BIPV pada *faced* bagian kaca pada Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau.
2. Untuk penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan perhitungan konservasi energi melalui selubung bangunan yang dihasilkan dari pemasangan sistem BIPV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ilham Lubis. 2018. *Analisa Perancangan On-Grid Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Industri Menengah (Studi Kasus: PT. P&P Bangkinang)*. UIN SUSKA Riau. Pekanbaru.
- [2] BPPT. 2018. *Outlook Energi Indonesia*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. ISBN: 978-602-1328-05-7. Jakarta
- [3] ESDM. 2016 .<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia> (diakses mei 2019)
- [4] H. Hasnawiya, Juli Desember 2012, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi”, Universitas Hasanuddin, Makassar, Volume 10, Nomor 2.
- [5] Cirriminna Rossaria, Giovani Palmisanno, 2010. “*BIPV Merging The Photovoltaic with The Constructio*”. Vol. 18 no. 61-72, 2010 Palermo, Italia.
- [6] Rafaela A. Agathokleus. 2016. “*Thermal Analysis of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System*”. *Procedings of ECOS 2016*, Portoroz. Slevina
- [7] Wahyudi Agung, Permana Dadang, 2017. “Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten”. *Jurnal Teknik Mesin*, vol.6 Edisi Spesial 2017.
- [8] Ardi Koto. “*Rekomendasi Program Manajemen Energi pada Gedung Non Fakultas UIN SUSKA RIAU*”. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Pekanbaru : Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim
- [9] Suksmono. Habib. 2018. *Analisis Teknis dan Ekonomi PLTS Rooftop PV System Grid-Connected Pada Gedung Rektorat UIN SUSKA RIAU*. UIN SUSKA Riau. Pekanbaru.
- [10] Susi Afriani, Rika, Darminto, 2018. “Efisiensi Energi Dari Aspek Selubung Bangunan Studi Kasus Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau” *Jurnal ForTE Seminar Nasional Teknik Elektro* ISBN 978-602-8692-34-2 , 11-13 oktober 2018, Batu Malang.
- [11] L. Liaou, Athiennites, Candanedo, K. W. Park, 2007. “*Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System*” *Journal of Solar Engineering* Vol. 129 November 2007, Kanada.
- [12] Lai, CM. Lin YP. 2011. “*Energy Saving Evaluation of The Ventilated BIPV Walls*”. *Energies* ISSN 1996-1073

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [13] HS, Rahmad. 2017. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop Grid-Connected pada Gedung Pemerintah (Studi Kasus: Gedung Kantor Gabungan Dinas Provinsi Riau)*. UIN SUSKA Riau. Pekanbaru
- [14] Quaschnig, V. 2005. *Understanding Renewable Energy System*. London
- [15] Global Sustainable Energy Solution (GSES). 2013. *Grid-Connected PV Systems Design and Instalations*. India
- [16] Hanif, M. 2012. *Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angel*. Khyber pakhtunkhwa Agriculturar University. Pakistan.
- [17] Regen Power. 2011. *Solar Photovoltaic Power System Handbook Grid Connected*.
- [18] www.energy.wsu.edu (diakses 23 Mei 2019)
- [19] ABB. 2010. *Technical Application Papers No.10 Photovoltaic Plants*. Bergamo. Italy.
- [20] Bambang, Purwoto. “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif” Jurnal Emitor Vol.18 No. 01 ISSN 1411-8890.
- [21] Putra, Gusti Agung Andita. 2015. *Studi Sistem Pengelolaan PLTS 15 kw Stand Alone Dengan Metode Kano Di Dusun Yeh Mampeh Kabupaten Bangli*. Fakultas Teknik Universitas Udayana. Bali
- [22] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN(Persero). 2015
- [23] Talal Salem, Elias Kinab, 2015. “Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Systems: A Case Study of Commercial Buildings under Mediterranean Climate” *Procedia Engineering* 118 (2015) 538 – 545. 2015, Lebanon.
- [24] Daniel Attoye, Kheira Anisa, 2017. “A Review on Building Integrated Photovoltaic Façade Customization Potentials ” *Journal Sustainability* Vol.9 No. 2287 9 Desember 2017, Arab Saudi.
- [25] TS Ong dan CH. Thum, “Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia,” *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Februari 2013.
- [26] Bank Indonesia “ BI 7 Day (Reverse) Repo Rate”, Tersedia: <https://bi.go.id>. (Diakses: 17 Desember 2019).
- [27] Giatman, M. 2006. *Ekonomi Teknik*. Jakarta. Grafindo Persada vol.18

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
- [28] Wisna Dwi, Karnoto, Bambang. 2014. Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. Semarang. Transient, Vol.3, No.2, ISSN: 2302-9927,159.
 - [29] M Jelita, Modul Perkenalan *Comsol Multiphysics*. Pekanbaru 2019
 - [30] *SketchUp*, “*SketchUp Pro 2019*”, Trimble 2019. [Online]. Tersedia: <http://www.sketchup.com> (Diakses: 27 November 2019).
 - [31] Peta UIN SUSKA Riau, (online)
 - [32] PVWatts. “*PVWatt Viewer Solar Business Hub Resources V6 API*”. (diksers juli 2020)
 - [33] *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)*. *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* (diksers juli 2020)
 - [34] REC Solar Inc. *Data Sheet* [online]. Tersedia: <https://www.recgroup.com> (diakses Desember 2019)
 - [35] SMA Inc Inverter. *Data Sheet*. [Online]. Tersedia: <http://www.sma.de> (diakses Desember 2019)
 - [36] Solar Panel,” 330 Wp *Phovoltaic Panel*.” *Recgroup*, 2019.[Online]. Tersedia: <http://www.recgroup.com/products>. (Diakses: Desember 2019).
 - [37] Bea Cukai “Jumlah Ketentuan Barang Kiriman”[online].Tersedia: <http://beacukai.go.id> (Diakses Desember 2019).
 - [38] Europe-SolarShop “ Inverter SMA Sunny Tripower 60-10 [online]. Tersedia: <http://Europe-Solarshop.com> (diakses Desember 2019)
 - [39] Solarclam-p”Komponen Instalasi Modul PV Di Dinding”[online]. Tersedia: <http://solarclam-p.com> (Diakses Desember 2019).
 - [40] PT Mega Kreasi Ekatama” Harga kabel AC dan DC”[online]. Tersedia: <http://mke-cables.co.id> (Diakses: 17 Desember 2019).
 - [41] Tokopedia” *AC Disconnect* dan *DC Disconnect*.”[online]. Tersedia: <http://m-tokopedia.com> (Diakses: 17 Desember 2019).
 - [42] PT. Suryatek Mulya Abadi, ”Biaya Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya” [online]. Tersedia: <http://pt-suryatek-mulia-abadi.indonetwoerk.co.id> (Diakses Desember 2019).
 - [43] HelioScope: *Advanced Solar Design Software* [online]. Tersedia: <https://www.helioscope.com/> (Diakses Agustus 2020).

LAMPIRAN A

Iklim Dan Geografis

Data Radiasi Matahari

Radiasi matahari orientasi Barat.

RESULTS 1,847 kWh/Year*

Print Results

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	2.51	209	N/A
February	2.35	169	N/A
March	1.84	146	N/A
April	1.66	131	N/A
May	1.62	132	N/A
June	1.59	124	N/A
July	1.60	130	N/A
August	1.62	132	N/A
September	1.69	132	N/A
October	2.04	162	N/A
November	2.37	184	N/A
December	2.43	198	N/A
Annual	1.95	1,849	0

Radiasi matahari orientasi Selatan

RESULTS 1,847 kWh/Year*

Print Results

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	2.51	209	N/A
February	2.35	169	N/A
March	1.84	146	N/A
April	1.66	131	N/A
May	1.62	132	N/A
June	1.59	124	N/A
July	1.60	130	N/A
August	1.62	132	N/A
September	1.69	132	N/A
October	2.04	162	N/A
November	2.37	184	N/A
December	2.43	198	N/A
Annual	1.95	1,849	0

Radiasi matahari orientasi Utara.

RESULTS 1,776 kWh/Year*

Print Results

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	1.59	129	N/A
February	1.63	120	N/A
March	1.66	134	N/A
April	1.99	152	N/A
May	2.24	179	N/A
June	2.48	191	N/A
July	2.38	190	N/A
August	2.11	167	N/A
September	1.70	132	N/A
October	1.61	131	N/A
November	1.58	124	N/A
December	1.56	128	N/A
Annual	1.88	1,777	0

Radiasi matahari orientasi Timur

RESULTS 2,093 kWh/Year*

Print Results

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	2.24	180	N/A
February	2.30	168	N/A
March	2.35	189	N/A
April	2.28	178	N/A
May	2.13	173	N/A
June	2.18	170	N/A
July	2.19	178	N/A
August	2.22	180	N/A
September	2.24	175	N/A
October	2.13	173	N/A
November	2.07	162	N/A
December	2.03	165	N/A
Annual	2.20	2,091	0

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN

Go to system info

Go to system info

Go to system info

University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Data Tekanan, Kecepatan Angin dan Temperatur

Bulan	Tekanan (Kpa)	Kecepatan Angin (m/s)	Temperatur (K)
Januari	99.7	0.9	299.75
Februari	99.7	0.9	299.95
Maret	99.7	1.0	300.45
April	99.6	0.9	300.75
Mei	99.6	0.9	301.05
Juni	99.6	1.1	301.05
Juli	99.6	1.3	300.55
Agustus	99.7	1.2	300.35
September	99.7	1.0	300.25
Oktober	99.7	1.0	300.35
November	99.7	1.1	300.15
Desember	99.7	1.1	299.75

1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Di larang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

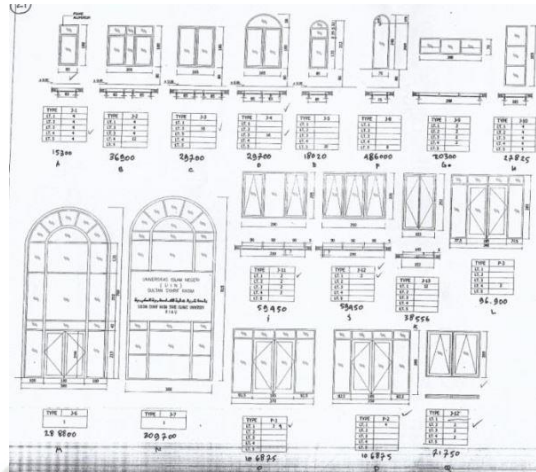
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

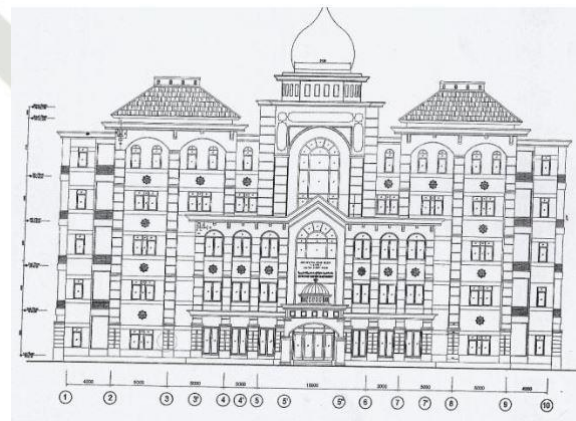
LAMPIRAN B Konstruksi Bangunan

Konstruksi Bangunan Rektorat UIN Suska Riau

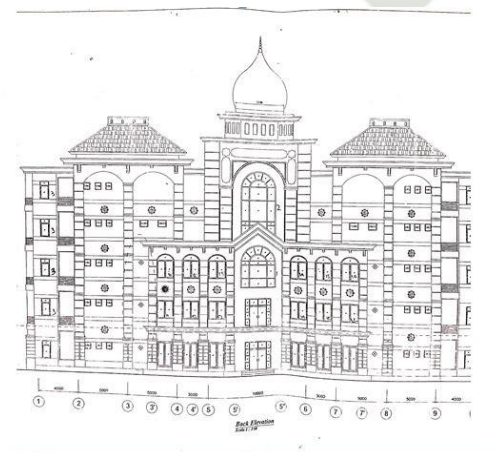
1. Luas jendela gedung Rektorat.



2. Luas dinding Selatan.



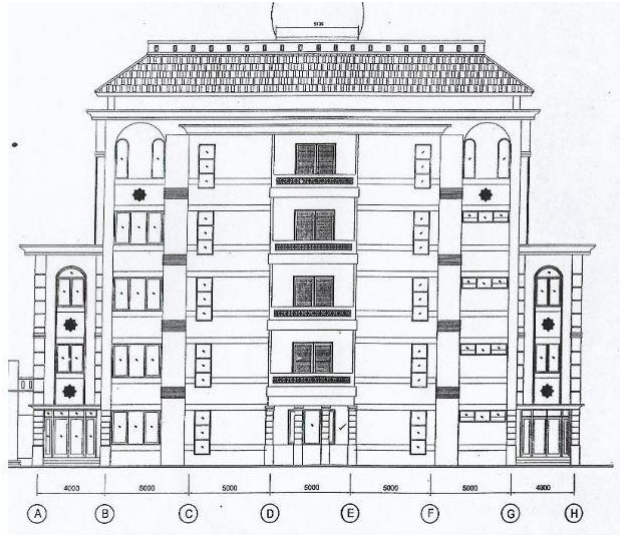
3. Luas dinding Utara



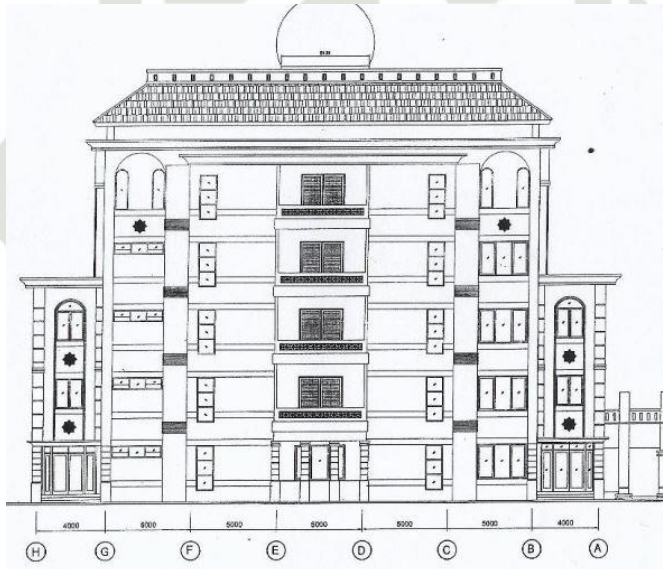
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Luas dinding Timur



5. Luas dinding Barat



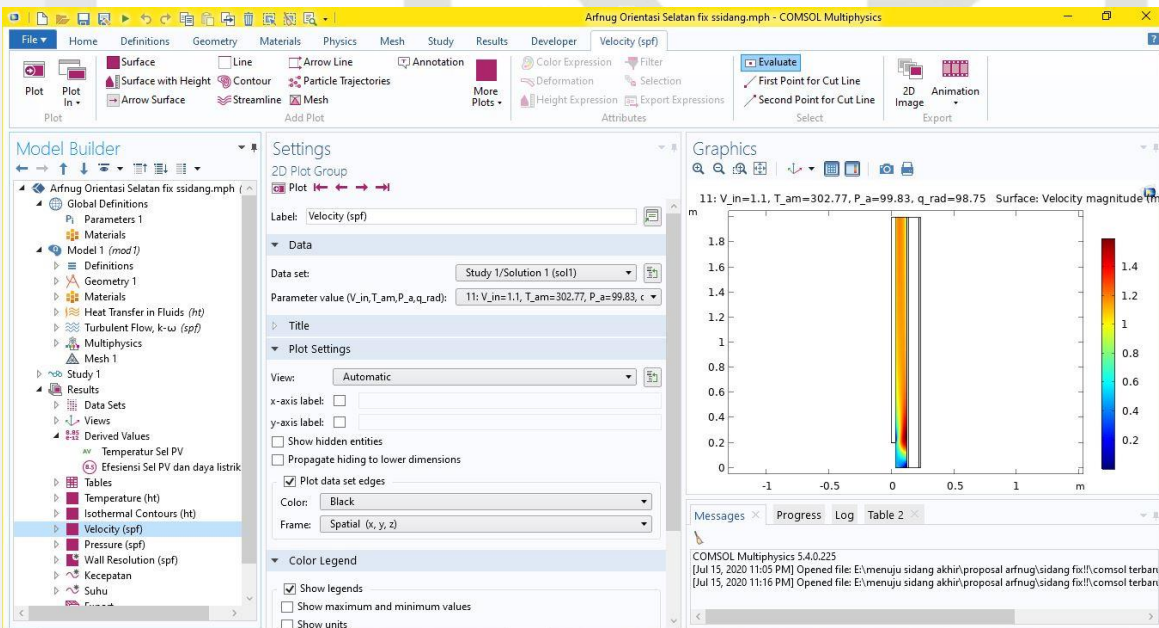
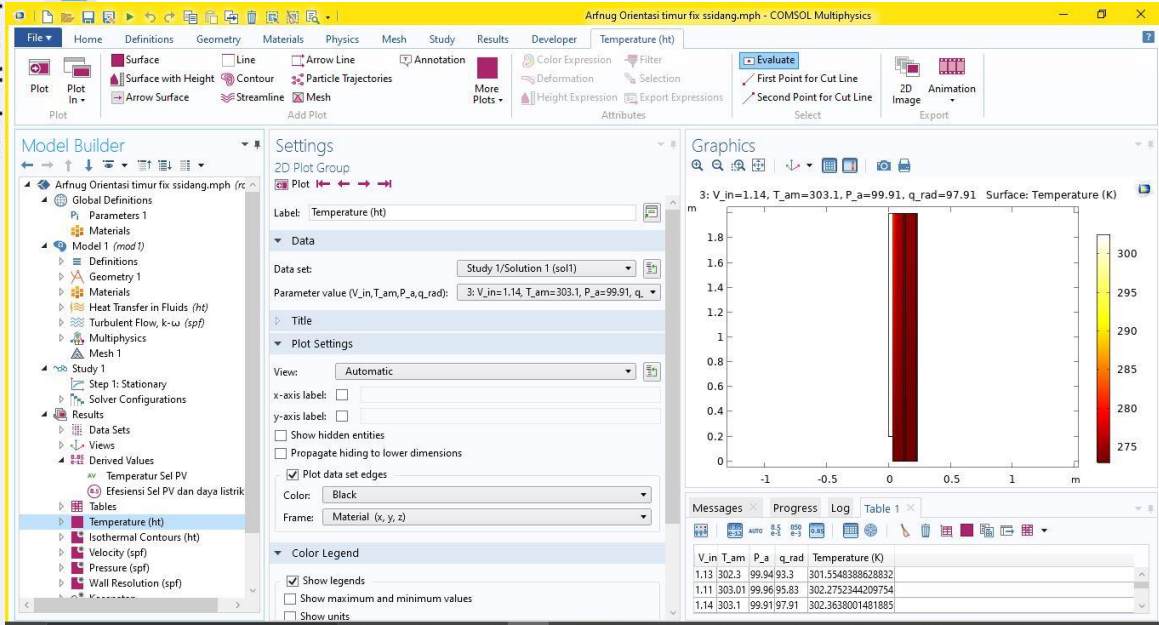
B. Tabel *properties* bangunan Rektorat

No	Material	Ketebalan (mm)	Densitas (kg/m ³)	Spesific Heat (kJ/kg.K)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
1	Plaster	12	1568	0.9	0.533
2	Batu-bata	85	2200	1	0.807
3	Gypsum	12	2000	1.09	0.17
4	Polycrystalline PV	35	2330	0.75	0.0149
5	Udara		20	0.84	0.025

LAMPIRAN C

Hasil Simulasi Comsol Multiphysic

A. Hasil simulasi comsol



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

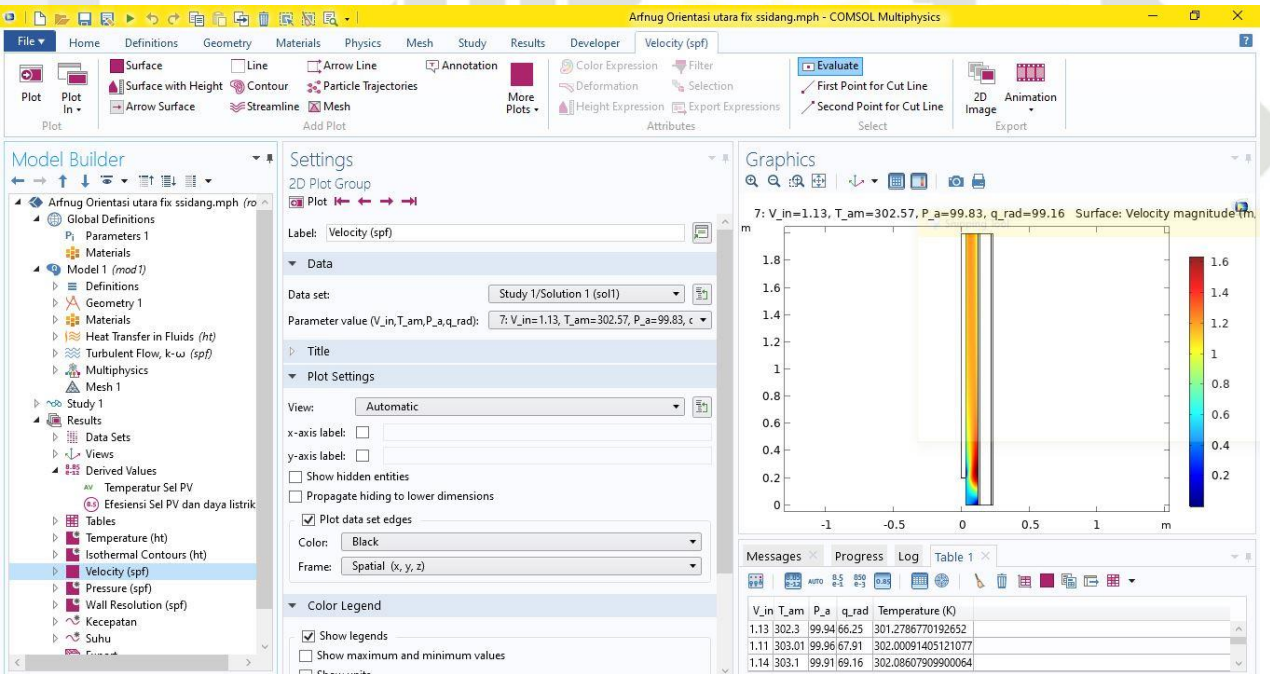
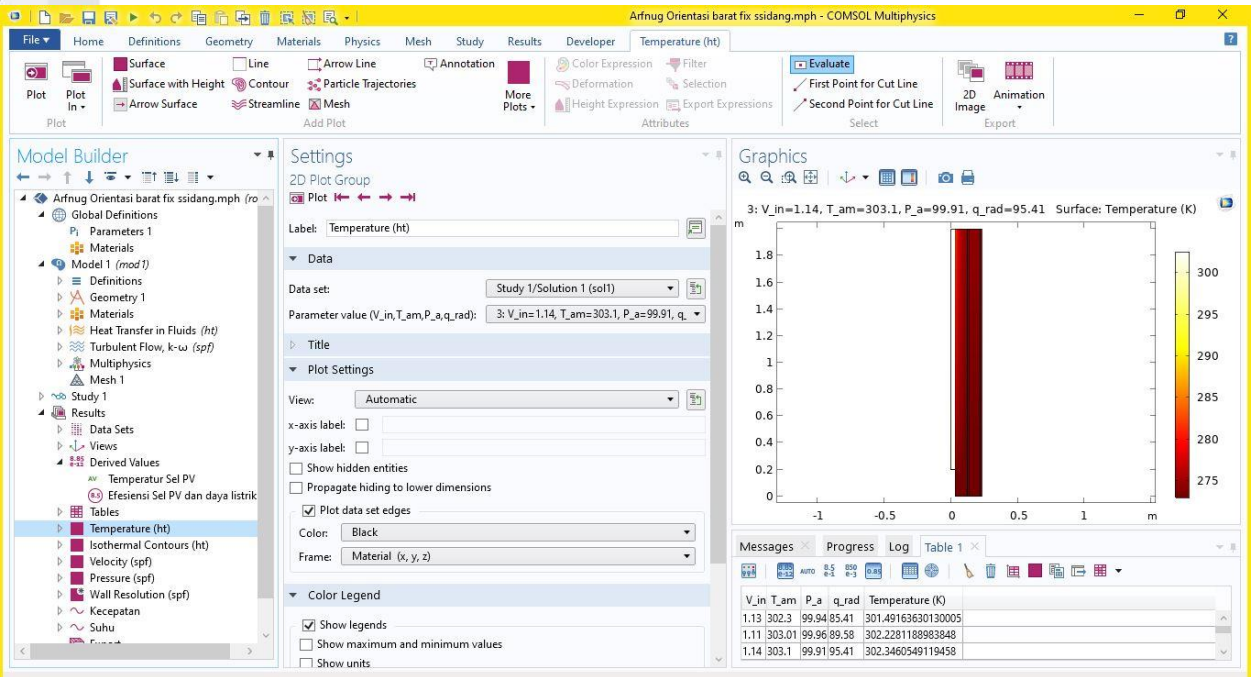
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta mi

an Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diinungui Unang-Unang

1. Diarng mengutip sebagian atau seluruh karya tuils ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarng mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tuils ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Tabel Hasil simulasi Comsol

a. Hasil simulasi orientasi Timur

V_in	T_am	P_a	q_rad	Temperature (K)	efesiensi sel PV (K)
0.9	299.75	99.7	93.3	299.14	0.16452
0.9	299.95	99.7	95.83	299.35	0.16439
1	300.45	99.7	97.91	299.81	0.16412
0.9	300.75	99.6	95	300.13	0.16393
0.9	301.5	99.6	88.75	300.83	0.16352
1.1	301.5	99.6	90.83	300.74	0.16357
1.3	300.55	99.6	91.25	299.73	0.16417
1.2	300.35	99.7	92.5	299.59	0.16426
1	300.25	99.7	93.3	299.58	0.16426
1	300.35	99.7	88.75	299.65	0.16422
1.1	300.15	99.7	86.25	299.39	0.16437
1.1	299.75	99.7	84.58	298.99	0.16461

b. Hasil simulasi orientasi Barat

V_in	T_am	P_a	q_rad	Temperature (K)	efesiensi sel PV (K)
0.9	299.75	99.7	108.75	299.22	0.16447
0.9	299.95	99.7	97.91	299.37	0.16439
1	300.45	99.7	76.6	299.65	0.16422
0.9	300.75	99.6	69.16	299.92	0.16406
0.9	301.5	99.6	67.5	300.63	0.16364
1.1	301.5	99.6	66.25	300.48	0.16372
1.3	300.55	99.6	66.6	299.45	0.16434
1.2	300.35	99.7	67.5	299.33	0.16441
1	300.25	99.7	70.41	299.39	0.16437
1	300.35	99.7	85	299.62	0.16424
1.1	300.15	99.7	98.75	299.48	0.16432
1.1	299.75	99.7	101.25	299.1	0.16454

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

c. Hasil simulasi orientasi Selatan

V_in	T_am	P_a	q_rad	Temperature (K)	efesiensi sel PV (K)
0.9	299.75	99.7	108.75	299.22	0.16447
0.9	299.95	99.7	97.91	299.37	0.16439
1	300.45	99.7	76.6	299.65	0.16422
0.9	300.75	99.6	69.16	299.92	0.16406
0.9	301.5	99.6	67.5	300.63	0.16364
1.1	301.5	99.6	66.25	300.48	0.16372
1.3	300.55	99.6	66.6	299.45	0.16434
1.2	300.35	99.7	67.5	299.33	0.16441
1	300.25	99.7	70.41	299.39	0.16437
1	300.35	99.7	85	299.62	0.16424
1.1	300.15	99.7	98.75	299.48	0.16432
1.1	299.75	99.7	101.25	299.1	0.16454

d. Hasil simulasi orientasi Utara

V_in	T_am	P_a	q_rad	Temperature (K)	efesiensi Panel PV (K)
0.9	299.75	99.7	66.25	298.92	0.16465
0.9	299.95	99.7	67.91	299.13	0.16453
1	300.45	99.7	69.16	299.57	0.16427
0.9	300.75	99.6	82.91	300.05	0.16398
0.9	301.5	99.6	93.3	300.86	0.1635
1.1	301.5	99.6	103.3	300.82	0.16352
1.3	300.55	99.6	99.16	299.79	0.16414
1.2	300.35	99.7	87.91	299.55	0.16428
1	300.25	99.7	70.83	299.39	0.16437
1	300.35	99.7	67.08	299.45	0.16434
1.1	300.15	99.7	65.83	299.17	0.1645
1.1	299.75	99.7	65	298.78	0.16474

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN D

Hasil Energi listrik BIPV

A.

Hasil energi listrik per panel

Hasil energi listrik perpanel ini didapatkan menggunakan persamaan:

$$Yield\ energy = total\ losses \times daya\ panel \times radiasi\ matahari$$

a. Hasil energi listrik orientasi Utara

total losses	daya panel (Pmax)	radiasi dalam PSH (kWh)	yield energi (Wh)	yield energi (kWh)
0.860141	330	1.59	451.31603	0.45131603
0.859514	330	1.62984	462.28731	0.46228731
0.858156	330	1.65984	470.05252	0.47005252
0.856641	330	1.98984	562.51089	0.56251089
0.854133	330	2.2392	631.14994	0.63114994
0.854238	330	2.4792	698.88278	0.69888278
0.857477	330	2.37984	673.41702	0.67341702
0.858208	330	2.10984	597.52505	0.59752505
0.858678	330	1.69992	481.69589	0.48169589
0.858522	330	1.60992	456.10988	0.45610988
0.859357	330	1.57992	448.0463	0.4480463
0.860611	330	1.56	443.04267	0.44304267

b. Hasil energi listrik orientasi Timur

total losses	daya panel (Pmax)	radiasi dalam PSH (kWh)	yield energi (Wh)	yield energi (kWh)
0.851992	330	2.2392	629.56723	0.62956723
0.849745	330	2.29992	644.93418	0.64493418
0.849432	330	2.34984	658.68949	0.65868949
0.850372	330	2.28	639.81997	0.63981997
0.850947	330	2.13	598.13047	0.59813047
0.851469	330	2.17992	612.52443	0.61252443
0.851208	330	2.19	615.16799	0.61516799
0.85032	330	2.22	622.94433	0.62294433

Hak Cipta Ditindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.849432	330	2.2392	627.87754	0.62787754
0.850059	330	2.13	597.50623	0.59750623
0.850686	330	2.07	581.1033	0.5811033
0.853298	330	2.02992	571.60152	0.57160152

c. Hasil energi listrik orientasi Selatan

total lossess	daya panel (Pmax)	radiasi dalam PSH (kWh)	yield energi (Wh)	yield energi (kWh)
0.852827	330	2.61	447.47854	0.44747854
0.850581	330	2.34984	457.48264	0.45748264
0.85032	330	1.8384	465.76032	0.46576032
0.850686	330	1.65984	558.60028	0.55860028
0.850842	330	1.62	628.92014	0.62892014
0.851208	330	1.59	696.60611	0.69660611
0.850999	330	1.5984	668.32967	0.66832967
0.850424	330	1.62	592.10557	0.59210557
0.850111	330	1.68984	476.88977	0.47688977
0.850738	330	2.04	451.97453	0.45197453
0.851365	330	2.37	443.87906	0.44387906
0.853977	330	2.43	439.62721	0.43962721

d. Hasil energi listrik orientasi Barat

total lossess	daya panel (Pmax)	radiasi dalam PSH (kWh)	yield energi (Wh)	yield energi (kWh)
0.852148	330	2.61	576.43332	0.57643332
0.849902	330	2.34984	602.98299	0.60298299
0.849536	330	1.8384	641.94969	0.64194969
0.850424	330	1.65984	628.61122	0.62861122
0.850947	330	1.62	589.7061	0.5897061

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

0.851469	330	1.59	606.92721	0.60692721
0.851312	330	1.5984	589.95952	0.58995952
0.850372	330	1.62	603.31656	0.60331656
0.849536	330	1.68984	602.72354	0.60272354
0.850059	330	2.04	591.85096	0.59185096
0.850686	330	2.37	578.27358	0.57827358
0.853298	330	2.43	560.31546	0.56031546

B. Hasil energi listrik dalam setahun.

Energi yang dihasilkan dalam setahun didapatkan menggunakan persamaan:

$$Yield\ energy\ pertahun = \frac{(yield\ energy \times jumlah\ hari \times jumlah\ panel\ terpasang)}{1000}$$

bulan	energi yang dihasilkan dalam setahun (MWh)			
	Utara	Timur	Selatan	Barat
januari	1.664620174	1.09292872	2.364966365	1.000688241
februari	1.537141682	1.011256801	1.918693613	0.945477323
maret	1.732628401	1.143484952	1.662638679	1.114424662
april	2.010961012	1.074897548	1.454511372	1.056066854
mei	2.339582926	1.038354494	1.467820118	1.023729783
juni	2.507782014	1.029041043	1.395106795	1.019637717
juli	2.486186383	1.067931624	1.448871054	1.024169718
agustus	2.202632709	1.081431357	1.466919725	1.047357542
september	1.716803176	1.054834268	1.479164214	1.012575553
oktober	1.681345237	1.037270817	1.845077974	1.027453267
november	1.597964631	0.976253537	2.075037184	0.971499607
desember	1.635413206	0.992300235	2.204971591	0.972707643
rata-rata	1.926088462	1.049998783	1.731981557	1.017982326
total	23.11306155	12.59998539	20.78377868	12.21578791

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.